



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

“MODELIZACIÓN DE SUPERFICIES CURVAS EN LA
SIMULACIÓN DE CAMPOS SONOROS FOCALIZADOS”

Miguel Remiro Monteagudo

Dr. Ricardo San Martín Murugarren

Pamplona, septiembre de 2014

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. ANTECEDENTES	8
3. OBJETIVO	9
4. TRABAJO TEÓRICO	10
4.1.- FUNDAMENTOS	10
<i>Fig.1 Eco flutter producido por una superficie curva.....</i>	<i>14</i>
<i>Fig.2 Representación del efecto de galería de los susurros. El sonido va del punto A al punto B ayudado por la amplificación producida por la focalización.</i>	<i>14</i>
4.2.- INCERTIDUMBRE.....	15
<i>Tabla 1. Resumen de las fortalezas y debilidades de los datos medidos y simulados.</i>	<i>16</i>
4.3.- ACÚSTICA GEOMÉTRICA	20
<i>Fig.3 Reflexión en superficies cóncavas.....</i>	<i>20</i>
4.4.- SUPERFICIES CURVAS	23
<i>Fig.5 Frente de ondas según el principio de Huygens</i>	<i>24</i>
<i>Fig.6 Reflexión en esfera.....</i>	<i>25</i>
<i>Fig.7 Nivel de presión sonora producido en una semiesfera.....</i>	<i>26</i>
<i>Fig.8 Incremento de SPL en el plano focal de una semiesfera.....</i>	<i>27</i>
<i>Fig.9 Reflexión en cilindro.</i>	<i>27</i>
<i>Fig.10 Ejemplo del resultado de los cálculos para un cilindro de radio R=10m para una frecuencia f=125 Hz.</i>	<i>28</i>



4.5.- PROGRAMAS DE SIMULACIÓN	29
<i>Fig.11 Representación del método ISM.</i>	<i>29</i>
<i>Fig.12 Reflexión de rayos en curvas segmentadas.....</i>	<i>30</i>
5. DESARROLLO DEL TRABAJO	32
5.1.- HIPÓTESIS INICIALES	32
5.2.- SALA TEST	33
<i>Fig.14 Exterior de la Ermita San Pedro de Etxano.....</i>	<i>33</i>
<i>Fig.13 Localización geográfica de la sala test. Fig.15 Vista del fondo semicilíndrico de la Ermita San Pedro de Etxano. Fig.16 Vista desde el altar de la Ermita San Pedro de Etxano.</i>	<i>34</i>
<i>Fig.17 Planta de San Pedro de Etxano.....</i>	<i>36</i>
<i>Fig.18 Alzado San Pedro de Etxano.....</i>	<i>36</i>
5.2.1.- Informe del ensayo según la norma UNE-EN-ISO 3382:37	
<i>Fig.19 Esquema San Pedro de Etxano.....</i>	<i>37</i>
<i>Fig.20 Diagramas de directividad fuente dodecaédrica.....</i>	<i>38</i>
<i>Fig.21 Respuesta en frecuencia micrófono GRAS 40AC.....</i>	<i>39</i>
<i>Fig.22 Disposición de micrófonos y fuentes.....</i>	<i>40</i>
<i>Fig.23 T20 medido.....</i>	<i>41</i>
5.2.2 Otros parametros	42
<i>Tabla 2. Parámetros acústicos por sectores.....</i>	<i>42</i>
5.3.- CRITERIOS PARA LA SUBDIVISIÓN DE LAS SUPERFICIES CURVAS	43
<i>Tabla 3. Conversión de circunferencias en polígonos regulares.....</i>	<i>44</i>
5.4.- EDITOR ODEÓN	46
<i>Tabla 4. Ejemplo tabla de puntos.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5. Ejemplo tabla superficies.</i>	<i>47</i>

5.5.- GEOMETRÍAS SIMPLES.....48

Fig.24 Modelos Odeón. Izq.: Cilindro. Centro: Semicilindro. Der.: Semiesfera.....48

Fig.25 Disposición de micrófonos y fuentes en cilindro y esfera....49

Fig.26 Resultados de SPL para cada receptor en la esfera de radio 5,4m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.51

Fig.27 Resultados de SPL para cada receptor en la esfera de radio 10,8m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.53

Fig.28 Resultados de SPL para cada receptor en la semiesfera y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.55

Fig.29 Resultados de SPL para cada receptor en el cilindro de radio 5,4m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.57

Fig.30 Resultados de SPL para cada receptor en cilindro de radio 10,8m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.59

Fig.31 Resultados de SPL para cada receptor en el semicilindro y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.61

5.6.- MODELADO DE LA SALA TEST62

Tabla 6. Relación entre el ángulo utilizado para dividir una circunferencia y el número correspondiente al parámetro NumeroSuperficiesF.....62

Fig.32 Modelado de la sala test.69

5.7.- SIMULACIÓN SALA TEST70

Tabla 7. Coeficiente de absorción superficies sala test.....70

Tabla 8. JND entre el promedio de los valores de T20 medidos y simulados.70

Fig.33 Gráfica que muestra los valores en JND entre el promedio de los valores de T20 medidos y simulados.71

Fig.34 Posiciones de receptores en la sala test.....71

Fig.35 Malla de receptores en la sala test.72



Fig.36 T20 para cada subdivisión de superficies curvas por posición de receptor. El eje vertical son segundos (s). Atributo “fractional” no asignado.	72
Fig.37 T20 para cada subdivisión de superficies curvas por posición de receptor. El eje vertical son segundos (s). Atributo “fractional” asignado.	73
Fig.38 SPL para cada subdivisión de superficies curvas por posición de receptor. El eje vertical son decibelios (dB). Atributo “fractional no asignado.	74
5.8.- COMPARADOR ACÚSTICO	76
5.9.- COMPARACIÓN DE MALLAS	76
Fig.39 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 45° en JND.	77
Fig.40 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 22,5° en JND.	77
Fig.41 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 5° en JND.	78
Fig.42 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 45° en JND.	79
Fig.43 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 22,5° en JND.	79
Fig.44 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 5° en JND.	80
Fig.45 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 45° en JND.	81
Fig.46 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 22,5° en JND.	81
Fig.47 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 5° en JND.	82
6. CONCLUSIONES	84
7. PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES	86



8. BIBLIOGRAFÍA87

9. ANEXO I: Tablas de datos89

9.1.- Esfera 5,4m de diámetro:89

9.2.- Esfera 10,8m de diámetro:92

9.3.- Semiesfera:95

9.4.- Cilindro 5,4m de diámetro:98

9.5.- Cilindro 10,8m de diámetro:101

9.6.- Semicilindro:104

9.7.- Etxano T20:107

9.8.- Etxano SPL:118

9.9.- Etxano Mediciones:129

10. ANEXO II: Códigos editor Odeón135

10.1.- SAN PEDRO DE ETXANO135

10.2.- CILINDRO143

10.3.- ESFERA144

10.4.- SEMICILINDRO144

10.5.- SEMIESFERA144

1. INTRODUCCIÓN

Los parámetros acústicos descritos en la ISO 3382 sirven como referencia para la caracterización acústica de recintos destinados tanto a la transmisión de lenguaje oral como musical. Pueden ser derivados a partir de respuestas al impulso medidas o simuladas, teniendo ambas estrategias sus ventajas e inconvenientes. Las principales diferencias entre los valores medidos y simulados obtenidos se fundamentan en la dificultad de reflejar computacionalmente, al menos en los programas de simulación basados en acústica geométrica, fenómenos ondulatorios como la difusión, la difracción o el analizado en este PFC, la focalización del campo sonoro generada por la presencia de superficies cóncavas en un recinto.

Aunque la focalización puede ser un efecto deseable, como refuerzo del mensaje sonoro en una zona más apagada, también puede generar problemas como ecos flutter, disminución de la inteligibilidad, coloración excesiva, deslocalización de fuente... Muchos recintos son potencialmente “focalizadores” debido a la presencia de superficies curvas en su interior. Cuando el sonido es reflejado en estas superficies, el campo sonoro converge y el nivel sonoro en la zona focalizada se incrementa.

Las superficies curvas en una sala son también causa de incertidumbre a la hora de simular sus parámetros acústicos, puesto que en los programas de simulación es necesario dividir estas superficies en varias superficies planas, división que puede ser realizada con mayor o menor precisión, no siendo garantía de resultados más precisos una mayor resolución geométrica, al igual que con las superficies planas cercanas a la fuente. Es necesario por tanto conocer los algoritmos implicados en la recreación del fenómeno para realizar una simulación con la menor incertidumbre posible.

Sobre la base de medidas y simulaciones de los parámetros acústicos realizadas en una sala test, se analizará tanto la capacidad como las limitaciones de ODEON para simular el fenómeno de focalización en el recinto propuesto con la máxima precisión.



2. ANTECEDENTES

Uno de los motivos más importantes para cursar Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, Especialidad en Sonido e Imagen fue la Acústica Arquitectónica. Desde pequeño, me ha fascinado la música y el sonido (llegando a realizar estudios profesionales de música y trabajando como músico durante varios años) y siempre me había interesado conocer por qué motivo unos recintos sonaban mejor que otros y aprender sus características.

Al contactar con mi tutor para realizar el presente proyecto, me expuso varios temas posibles. Profundicé sobre el campo de la incertidumbre en las simulaciones acústicas y descubrí que había muchos caminos que recorrer e investigar. Finalmente, decidimos que la simulación de superficies curvas era un tema interesante, sobre el que prácticamente no se habían realizado estudios y para cuya investigación disponíamos de las herramientas necesarias. Además, conseguimos una sala a priori conveniente para realizar los experimentos necesarios.



3. OBJETIVO

El objetivo principal del PFC es analizar la capacidad de un programa de simulación basado en acústica geométrica de predecir la focalización del campo sonoro debida a la presencia de superficies cóncavas en recintos.

Como objetivos secundarios se propone el análisis del fenómeno de la focalización en geometrías simples y la incertidumbre en la modelización computacional de recintos con superficies curvas.

Como ejemplo de aplicación, se propone la comparación entre valores medidos y simulados en una sala test. La Ermita de San Pedro de Etxano (S. XII), sita en Olóriz y declarada Bien de Interés Cultural, cumple los requisitos en cuanto a geometría. Su especial acústica, característica muy destacada por sus visitantes, será también objeto de análisis en este PFC.

4. TRABAJO TEÓRICO

4.1.- FUNDAMENTOS

Al emitir energía una fuente sonora, produce ondas que se propagan radialmente en todas las direcciones hasta que chocan con un obstáculo produciéndose los siguientes fenómenos:

Atenuación: Las ondas sonoras pierden energía al propagarse. Se describe mediante la ley cuadrática inversa, según la cual la intensidad en un punto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al foco emisor.

Absorción: Al atravesar un obstáculo, las ondas sonoras disipan parte de su energía en forma de calor. La cantidad de energía que disipan depende de la frecuencia de la onda y de las características del obstáculo.

Reflexión: Al encontrar las ondas sonoras un obstáculo, parte de la energía que contienen cambiará de dirección. A este fenómeno se le conoce como reflexión. La energía sonora de un receptor dentro de un recinto será una combinación del sonido directo desde la fuente y las reflexiones producidas. Estas reflexiones pueden ser especulares (siguen las leyes de la reflexión) cuando las superficies son lisas o difusas (se reflejan en todas las direcciones) cuando las superficies son irregulares.

Difracción: Desviación que sufren las ondas sonoras cuando encuentran un obstáculo o una abertura de tamaño comparable a su longitud de onda. Si el obstáculo o la abertura es menor que su longitud de onda, la onda sonora seguirá propagándose, rodeando el obstáculo, sin sufrir variación alguna. Si el tamaño es mayor o igual, aparecerá una zona de sombra detrás del obstáculo en la que no recibirá sonido, y en el caso de la abertura, se convertiría en una fuente puntual radiando la energía incidente en forma de ondas esféricas.

-Interferencias: Se producen cuando coinciden en un punto dos ondas. Según la fase de las ondas, la interferencia puede ser destructiva o constructiva.

El campo sonoro dentro de un recinto estará formado por el sonido directo que va desde la fuente al receptor y los sonidos reflejados que van desde la fuente al receptor después de una o varias reflexiones en las superficies del recinto. El sonido directo y los sonidos reflejados tienen que recorrer distancias diferentes hasta llegar al receptor, por lo que no llegarán todos al mismo tiempo ni con la misma intensidad. Además, cuanto mayor sea el número de superficies en las que se refleje una onda antes de llegar al receptor, menor energía contendrá.

Todos estos cambios producidos por un recinto en la señal básica son importantes para determinar la calidad de la palabra y la música y que factores tienen influencia sobre ello. Para realizar este análisis existen cuatro teorías que permiten estudiar la acústica de un recinto:

Teoría estadística: Supone la condición de campo difuso (gran número de ondas reflejadas provenientes de todas las direcciones se combinan de forma que la densidad media de energía es uniforme en dicho campo). Esto sucede en las salas reverberantes. Este método no descubre los detalles intrínsecos del fenómeno, pero permite obtener de manera sencilla conclusiones objetivas sobre las características de la sala. Para la teoría estadística, la energía de una fuente sonora se radia en todas las direcciones de manera aleatoria, por lo tanto, si algunas de las superficies del recinto tienen propiedades de enfoque (pérdida de aleatoriedad en la dirección de las ondas reflejadas), el análisis estadístico no se puede aplicar.

Teoría geométrica: Considera el campo sonoro como una combinación de rayos, contruidos a partir de las leyes de la acústica geométrica. La onda se sustituye por un rayo que propaga la energía sonora. Este rayo es una línea que indica la dirección y el sentido de propagación del sonido, además tiene contenido energético. Una fuente sonora reparte su energía entre todos los rayos que emite según su patrón de directividad. Las hipótesis de esta teoría son: medio homogéneo e isótropo (no existe la refracción); longitud de onda menor que los obstáculos y aberturas de la sala (no existe la difracción); las superficies son lisas (sólo reflexiones especulares); no se contemplan las diferencias de fase de las ondas coincidentes (no se contemplan interferencias). La energía en cualquier punto se obtiene calculando las pérdidas de todos los rayos después de reflejarse que pasan por ese punto.

Teoría ondulatoria: El sonido tiene una naturaleza ondulatoria, por lo que podemos caracterizar el campo sonoro en un recinto mediante la resolución de la ecuación de ondas. El espacio de un recinto se comporta como un sistema vibratorio tridimensional. En esta teoría si que se

contemplan fenómenos como el de la interferencia. La problemática de esta teoría es que resulta muy complicado resolver la ecuación de ondas excepto para salas con una forma muy sencilla.

Teoría psicoacústica: Se somete al oyente a diversos estímulos y pruebas con el objetivo de localizar e identificar la fuente sonora, así como valorar la calidad subjetiva de la misma. Los parámetros de evaluación objetivos no servirían para nada si el oyente no estuviera de acuerdo con lo que expresan sobre un recinto. Para analizar una sala desde esta perspectiva, se deben realizar pruebas y consultas objetivas a un número muy grande de personas, tanto expertas como profanas y de diversos lugares y someterlas a diferentes piezas musicales, lecturas, tonos y otros estímulos para preguntarles sobre su percepción de diversos parámetros y aspectos acústicos. En la práctica, estos experimentos son muy complicados de llevar a cabo y tienen un bajo índice de repetitibilidad.

De estas cuatro teorías, la teoría estadística no es adecuada para el estudio de las superficies curvas y su comportamiento ya que la focalización de estas superficies entra en conflicto con sus hipótesis. La teoría geométrica y la teoría ondulatoria serán las que se utilicen en el presente proyecto. Se hará especial incapié en la teoría geométrica debido a que el programa de simulación que se utilizará está basado en ella. La teoría psicoacústica no entra dentro de los objetivos de este proyecto, ya que no se busca comprender como mejoran o empeoran la audibilidad de una sala las superficies curvas, esto sería objeto de futuras investigaciones.

Para determinar las características acústicas de una sala se usan diferentes parámetros. Estos parámetros indican de manera cuantitativa las sensaciones auditivas, la calidad de transmisión de mensajes o la intensidad de percepción del sonido. Los parámetros más importantes para este proyecto son:

SPL: Nivel de presión sonora. Mide la magnitud del campo sonoro en un punto y viene definido por la expresión:

$$SPL = 20 \log_{10} \left(\frac{P_{rms}}{P_0} \right) \text{ (dB)}$$

donde P_{rms} es la presión eficaz en el punto a considerar y P_0 es la presión eficaz de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

T: Tiempo de reverberación. Tiempo requerido para que la densidad de la energía media en un recinto decrezca 60dB una vez que la emisión de la fuente sonora ha cesado. Se mide en segundos (s). También se utilizan el T20 y el T30, que obtienen el tiempo de reverberación de la sala a partir de la pendiente de caída de los primeros 20dB o los primeros 30dB, respectivamente.

EDT: “Early Decay Time”. Tiempo que tarda en caer 10dB el nivel de presión sonora desde que la fuente deja de emitir, multiplicado por seis. Este parámetro mide más la percepción del tiempo de reverberación.

C80: Claridad musical. Se define como el cociente entre la energía acústica recibida en los primeros 80ms después de recibir el sonido directo y la recibida después de esos 80ms. Se expresa en decibelios. El valor C80(musicaverage) (media aritmética de C80 a 500Hz, 1KHz y 2KHz) es el utilizado para valorar el grado de separación que se puede apreciar entre los distintos sonidos de una composición musical. Para una sala desocupada, los valores recomendados van desde -4dB a 0dB.

G: Sonoridad. Mide el grado de amplificación que la sala ejerce sobre la música. Se mide con la sala vacía. Se define como la relación del nivel de presión sonora total en un punto de la sala donde radia una fuente omnidireccional, y el nivel de presión sonora a 10m de la misma fuente en espacio libre. Se expresa en decibelios. El valor Gmid (media aritmética de G a 500Hz y 1000Hz) es el empleado usualmente para medir la calidad acústica de una sala. Los valores recomendados son los comprendidos entre 4dB y 5,5dB.

Cuando el sonido es reflejado por superficies curvas, el campo sonoro reflejado converge y el nivel sonoro se incrementa. Además pueden provocar diferentes efectos y problemas como ecos flotantes, efecto de galería de los susurros, ininteligibilidad del habla, problemas para localizar la fuente o acoples en micrófonos.

Focalización: Agrupación de reflexiones en una zona particular, amplificando el sonido directo.

Ecos flotantes: Son ecos formados por varias repeticiones sucesivas, muy próximas entre si. Se forman cuando hay dos superficies reflectantes muy próximas entre si.

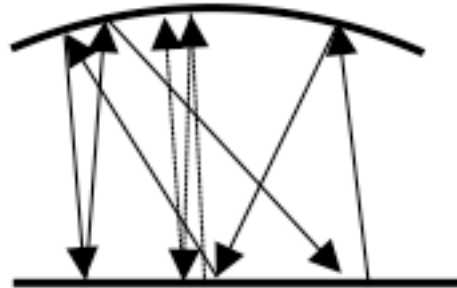


Fig.1 Eco flutter producido por una superficie curva.

Galería de los susurros: Aparece en salas y edificios de forma circular o con cúpulas es el techo. Es la capacidad de que el sonido llega a partes lejanas del edificio debido a la focalización del sonido.

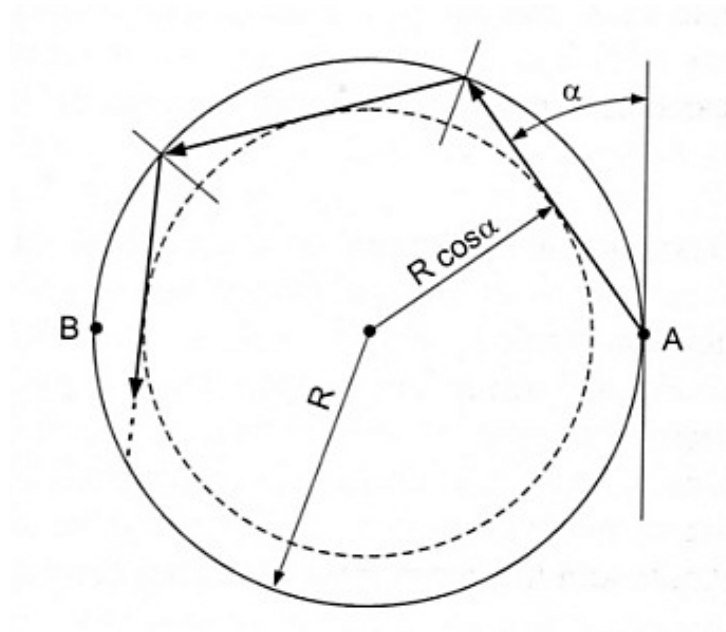


Fig.2 Representación del efecto de galería de los susurros. El sonido va del punto A al punto B ayudado por la amplificación producida por la focalización.

Deslocalización de la fuente: Si existe alguna reflexión que llegue al receptor en los primeros 80ms con un nivel considerable, es posible que la percepción de la posición del sonido sea que llega desde la superficie reflectante en vez de la fuente.

4.2.- INCERTIDUMBRE

[San Martín 13] [Christensen 13a] [Vörlander 13] [Behler 08]

Para caracterizar acústicamente un recinto se utilizan como referencia los parámetros acústicos descritos en la Norma ISO-3382. Estos datos pueden ser obtenidos a partir de respuestas al impulso medidas en la propia sala o bien simuladas por modelos informáticos. Las medidas suelen ser consideradas más precisas que las simuladas, pero la simulación permite obtener datos de un número muy alto de receptores, observar con facilidad el cambio de las características acústicas de una sala al variar las propiedades de la misma (tipo de absorción del material, cambios geométricos) e incluso predecir las características acústicas de una sala no construida.

La siguiente tabla resume las fortalezas y debilidades de los datos medidos y los datos simulados. Permite observar que característica, tanto de unos como de otros, se corresponden mejor con el modelo teórico de caracterización. Así aunque entre las fortalezas de los datos medidos estén presentes el comportamiento real del modelo ondulatorio y el modelo geométrico a la perfección, la directividad de la fuente no será perfectamente omnidireccional y se pueden observar problemas de ruido de fondo o distorsión, que en los datos medidos no existen.

	FORTALEZAS
DATOS MEDIDOS	Modelo geométrico, absorción del aire y coeficientes de absorción y difusión de los materiales incluidos completamente
	Difracción y difusión consustanciales al campo sonoro real medido
	Fenómeno ondulatorio real
DATOS SIMULADOS	Fuente perfectamente omnidireccional
	Excitación es directamente la función de Dirac
	No existe ruido de fondo ni distorsión
	Cálculo del inicio de la respuesta al impulso perfecto
	Capacidad de predicción de los parámetros al realizar cambios en la sala

	DEBILIDADES
DATOS MEDIDOS	La absorción del aire varía, con lo que pueden variar en diferentes medidas
	Directividad de la fuente no es perfecta
	Dificultad para calcular el inicio y el final de la respuesta al impulso al no tener suficiente rango dinámico a bajas y altas frecuencias
	Distorsión
	Se necesita un procedimiento de calibrado especial de la fuente para obtener el parámetro G
	Presencia de ruido de fondo
	Necesidad de filtrar en octavas para obtener algún parámetro, lo que altera la señal original
DATOS SIMULADOS	Geometría del recinto aproximada
	Fenómeno ondulatorio aproximado
	Absorción y rugosidad de las superficies debe ser medida o elegida, no será la real
	Absorción del aire calculada teóricamente

Tabla 1. Resumen de las fortalezas y debilidades de los datos medidos y simulados.

Se suele utilizar los datos medidos para validar modelos simulados, puesto que los datos medidos recogen características propias de la sala que en la simulación se encuentran de manera aproximada. Estas características, como el modelo geométrico, la absorción del aire o los coeficientes de absorción y difusión de los materiales son las fuentes de incertidumbre en las simulaciones. Pero los datos medidos también tienen su fuente de incertidumbre, como el uso de una fuente omnidireccional no ideal, excitación no ideal, ruido de fondo o distorsión. Unas medidas imprecisas pueden llevar a una validación errónea de una simulación. Cuando se utilicen como referencia los datos medidos para validar un modelo simulado, se deben tener en cuenta estos factores. Las diferencias entre los valores medidos y simulados no siempre serán atribuibles a las limitaciones de los programas de simulación basados en acústica geométrica.

A continuación se estudiarán algunas de las causas de la incertidumbre. Primero se verán las que proporcionan los programas de simulación, en particular los que están basados en acústica geométrica. También se estudiará la incertidumbre causada por la medida de los datos de entrada.

Intrínsecas al sistema

Son desviaciones de las medidas causadas por el uso de modelos aproximados para realizar la simulación.

Nivel de detalle del modelo del recinto

Los programas de simulación utilizan algoritmos que aproximan los resultados reales. Esto es así porque teóricamente, para calcular la energía reflejada en una superficie, ésta debe de ser infinitamente mayor que la longitud de onda. La longitud de onda del sonido audible puede llegar a los 17 metros, lo que hace que las simulaciones a bajas frecuencias o en salas pequeñas o con superficies reducidas no sean perfectas.

Existen bastantes estudios que comparan simulaciones de modelos de recintos con un gran nivel de detalle con otros modelos simplificados. En ellos se concluye que los modelos simplificados, en especial los que simplifican la zona cercana a la fuente sonora, proporcionan mejores simulaciones que los que tienen una alta fidelidad geométrica.

Superficies curvas

Los modelos geométricos utilizados en las simulaciones realizadas en programas basados en acústica geométrica están formados por polígonos y superficies planas. Las superficies curvas suelen representarse mediante varias superficies planas. Sin embargo, las superficies curvas producen efectos que no se pueden reproducir por las superficies planas. En particular, cuando el sonido se refleja en una superficie cóncava la energía se concentra en el punto focal. Según la acústica geométrica, en ese punto, la energía tenderá a infinito.

Vercammen obtuvo un buen resultado con herramientas de trazado de rayos al aumentar las superficies en las que se dividía la curva. Aunque el mismo Vercammen concluyó que las simulaciones basadas en acústica geométrica no son las adecuadas para evaluar estos fenómenos. También recomendó estudiar como mejorar los resultados que obtenemos con estas herramientas.

Difracción

La difracción es un fenómeno ondulatorio que no está bien resuelto por los algoritmos de simulación (aquellas simulaciones basadas en los métodos “mirror image source method (MISM), ray tracing (RT) o beam tracing (BT)). El mayor problema para simular la difracción es el aumento considerable del tiempo de cálculo. Se han desarrollado diferentes métodos para simular la difracción pero todavía no se han probado ni comparado sus resultados.

Impedancia de la onda esférica

Para salas grandes, en las que la posición de la fuente acústica y de los receptores no están muy cerca de las paredes, la impedancia de una onda esférica se aproxima a la impedancia de una onda plana. Este método es utilizado por los programas de simulación basados en acústica geométrica. Pero no se puede usar esta aproximación para salas pequeñas o estrechas. Para este tipo de salas se debe utilizar programas de simulación que utilicen modelos basados en la ecuación de ondas.

Incertidumbres en los datos de entrada

Las incertidumbres en los datos de entrada pueden ser de dos tipos: las originadas por la elección de parámetros a la hora de simular o las generadas por los equipos o técnicas utilizadas para conseguir las medidas tomadas de la excitación de la sala real.

Número de rayos

Existe un número mínimo de rayos necesarios para que no se pierda ninguna reflexión. Sin embargo, la elección final del número de rayos a utilizar en la simulación es del operador. Dependiendo del número de rayos elegido puede variar el resultado.

Coefficientes de absorción

Los coeficientes de absorción de cada superficie del modelo geométrico deben ser introducidos por el operador. Existen tablas y listas que relacionan materiales y absorción, pero estos datos no tienen por qué ser exactos para los materiales de una sala en concreto. Queda en manos del operador elegir la coeficientes correctos, y modificarlos para conseguir la mejor aproximación.

Coefficientes de difusión

La difusión se produce cuando la superficie que entra en contacto con la onda sonora tiene cierto grado de rugosidad. Esto hará que las ondas incidentes se reflejen en direcciones en cierta manera aleatorias. La ISO-17497 proporciona un método para calcular estos coeficientes de difusión, aunque tiene ciertas limitaciones (las medidas se realizan en modelos a escala).

Incertidumbre en los datos de entrada

Es la incertidumbre que existe en las medidas tomadas directamente de la excitación de la sala real.

Fuente omnidireccional no ideal

La ISO-3382 para la Medición del Tiempo de Reverberación en recintos, nos expone en su apartado 4 “Condiciones de medición”, que “la fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible”. Las fuentes omnidireccionales reales presentan lóbulos direccionales a altas frecuencias. Esto hace que se puedan encontrar diferencias notables entre los datos medidos y simulados que no tienen por que ser achacados a los programas de simulación. A bajas frecuencias, estas fuentes reales si que se comportan de manera omnidireccional.

División de la energía en bandas

Para mostrar los resultados, la ISO-3382 dice que se tienen que presentar los datos divididos por bandas de octava. Para ello se deben usar filtros que no son ideales, sino que presentan ciertas curvas de caída, que harán aparecer un periodo transitorio que puede distorsionar los resultados.

Excitación no ideal

La ISO-3382 expone diferentes maneras de excitar el recinto, como pueden ser utilizar fuentes impulsivas como disparos, o petardos, barridos de tonos puros o ruido pseudoaleatorio. Estas excitaciones nunca serán exactamente un impulso, pues en la práctica, esto añadido a otros factores como el ruido de fondo, puede llevar a distorsiones o a no detectar perfectamente el tiempo de caída.

4.3.- ACÚSTICA GEOMÉTRICA

[Vercammen 12]

En la acústica geométrica el comportamiento del sonido es descrito mediante leyes geométricas, como en la óptica geométrica. Comportamientos como la interferencia, la difracción o la refracción no son tenidos en cuenta. La propagación de las ondas sonoras se representa por rayos, que son considerados como pequeñas porciones de la onda esférica. Esta propagación es rectilínea, (Principio de Fermat: una onda emplea el menor tiempo posible en ir desde la fuente hasta el receptor).

Cuando las ondas sonoras se encuentran con un obstáculo, parte de la energía es absorbida y parte es reflejada de manera especular o difusa (dispersión).

Los rayos se reflejan de manera especular, de acuerdo a la ley de Snell (el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión), en el punto de intersección con la superficie reflectante. Para superficies cóncavas, se utiliza para calcular la reflexión el plano tangente en el punto de intersección.

El concepto de acústica geométrica sólo es valido para altas frecuencias, donde las dimensiones de las superficies reflectantes son considerablemente mayores que la longitud de onda. Además, en la acústica geométrica no se contemplan los fenómenos de la refracción, la difracción y la interferencia.

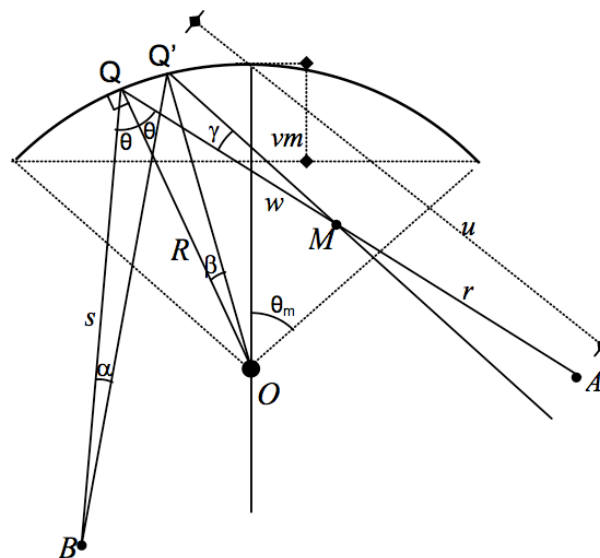


Fig.3 Reflexión en superficies cóncavas.

En la figura superior se tiene una superficie cóncava reflectante de radio R. La fuente es el punto B, el punto M es el punto focal resultante, y el punto A es la posición del receptor. Para esta situación se puede derivar la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{w} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R \cos \theta}$$

La presión sonora en el punto A sería la presión sonora en la fuente, menos las pérdidas por la distancia de la reflexión más la amplificación de la curvatura:

$$L_p = L_{p1m} - \Delta L_r + \Delta L_c$$

La amplificación de la curvatura sería:

$$\Delta L_c = -10 \lg \left(\left| \frac{1}{\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{s} \right)} \frac{2}{R_x \cos \theta_x} - 1 \right| \right) - 10 \lg \left(\left| \frac{1}{\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{s} \right)} \frac{2}{R_y \cos \theta_y} - 1 \right| \right)$$

Esta fórmula se puede interpretar como el incremento de nivel de presión sonora de una superficie curva doble.

En una esfera, el radio de curvatura R es igual en ambas direcciones, porque la expresión quedaría reducida a:

$$\Delta L_c = -20 \lg \left(\left| \frac{1}{\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{s} \right)} \frac{2}{R \cos \theta} - 1 \right| \right)$$

El cilindro sólo tiene curvatura en una dirección. Si uno de los radios de la fórmula general tiende a infinito, se concluye que el incremento de presión sonora para el cilindro es:

$$\Delta L_c = -10 \lg \left(\left| \frac{1}{\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{s} \right)} \frac{2}{R_x \cos \theta_x} - 1 \right| \right)$$

En ambos casos, la presión sonora calculada en el punto focal sería infinita, lo cual no se ajusta a lo que sucede en la realidad.

El radio de curvatura en una superficie elíptica depende del punto de reflexión de la elipse:

$$R = \frac{1}{ab} \left(a^2 - \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) x^2 \right)^{3/2}$$

Con a y b los semiejes de la elipse ($a > b$). El punto de reflexión de la elipse se puede obtener de dibujar la elipse, las tangentes y las reflexiones. Sustituyendo este radio en la fórmula general obtenemos el incremento de presión sonora.

Para otros tipos de curvatura, una expresión más general sería:

$$\Delta L_c = 10 \lg (S_u / S_r)$$

Donde S_u es el área del frente de onda esférico para un ángulo de incidencia relevante, y S_r es el área del frente de onda reflejado geoméricamente.

4.4.- SUPERFICIES CURVAS

[Christensen 13b] [Vercammen 12] [Kuttruff 92]

Existen pocos estudios sobre cómo afectan las superficies curvas a las simulaciones acústicas de salas. El manual del programa Odeón da varias pautas y recomendaciones para la correcta simulación de estas superficies pero no explica ni demuestra como se ha llegado a esas conclusiones ni por qué recomienda esos valores y no otros.

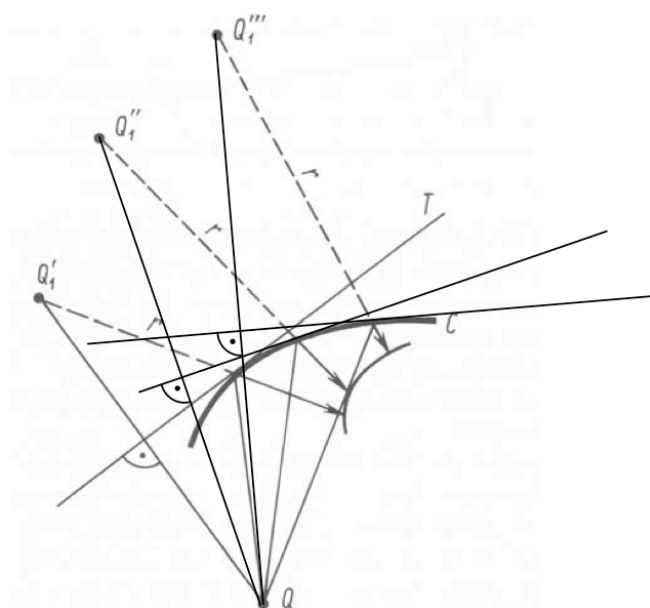


Fig.4 Reflexión en superficies curvas.

H. Kuttruff estudió las superficies curvas (en particular las cilíndricas) y cómo estas eran aproximadas por los programas de simulación llegando a las siguientes conclusiones:

- La reflexión del sonido en un cilindro rígido se puede obtener reemplazando el contorno circular por un polígono regular.
- Usando el método de trazado de rayos, al aumentar el número de superficies aumenta la precisión de los resultados obtenidos, aunque al aproximarse al plano focal la densidad de energía se desvía de la correcta.
- El resultado no depende de la frecuencia. Esto es un defecto de la acústica geométrica que en lo referente a superficies curvas no contempla más dependencia frecuencial que la originada por la absorción.

M. Vercammen realiza el estudio más exhaustivo sobre este tema hasta la fecha. Vercammen estudia la problemática de las superficies curvas primeramente desde la acústica geométrica. Concluye que la acústica geométrica y los programas basados en esta son insuficientes para conseguir simular adecuadamente la sala en el área focal a causa de sus debilidades y aproximaciones del comportamiento real del sonido.

Para conocer el campo sonoro existente fuera de la zona focal los métodos de la acústica geométrica son suficientes, pero dentro de esta zona focal es necesario utilizar métodos basados en la acústica ondulatoria.

Para las simulaciones basadas en trazado de rayos, se puede aproximar vagamente la energía en la zona focal si utilizamos una gran cantidad de superficies en la segmentación de la superficie curva en combinación con un receptor de diámetro semejante a la mitad de la longitud de onda.

Para llegar a todas estas conclusiones, Vercammen se sustenta en el principio de Huygens: “Todos los puntos en un frente de onda, pueden ser considerado como emisores secundarios. Estos emisores se combinan para crear un nuevo frente de onda en la dirección de propagación”.

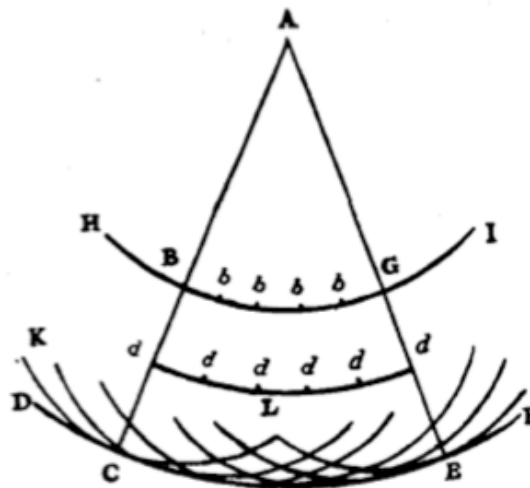


Fig.5 Frente de ondas según el principio de Huygens

Según este principio, los emisores secundarios emitirían en todas las direcciones, creando un frente de ondas en dirección a la fuente, lo cual no sucede en la realidad. Fresnel, completo este principio afirmando que los emisores secundarios interfieren entre si para que esto no suceda. Tomando esto como base, Kirchhoff creó una expresión matemática que permite investigar el campo sonoro desde la teoría ondulatoria. La integración de esta expresión requiere para muchos casos una aproximación, ya que la resolución de la misma es imposible para cualquier tipo de sala. Mediante el uso de la integral de Kirchhoff, los fenómenos que no era posible analizar para la acústica geométrica como la difracción o la interferencia están contemplados.

Vercammen realiza aproximaciones a la integral de Kirchhoff para diferentes superficies curvas. El objetivo de este proyecto no es llegar a solucionar esta ecuación, sino analizar como la acústica geométrica puede aproximar estos resultados, por ello, es importante conocer qué se debe esperar del comportamiento acústico de estas superficies para después poder compararlo con los resultados que se obtengan.

A continuación, estudiaremos alguna de estas aproximaciones:

Esfera:

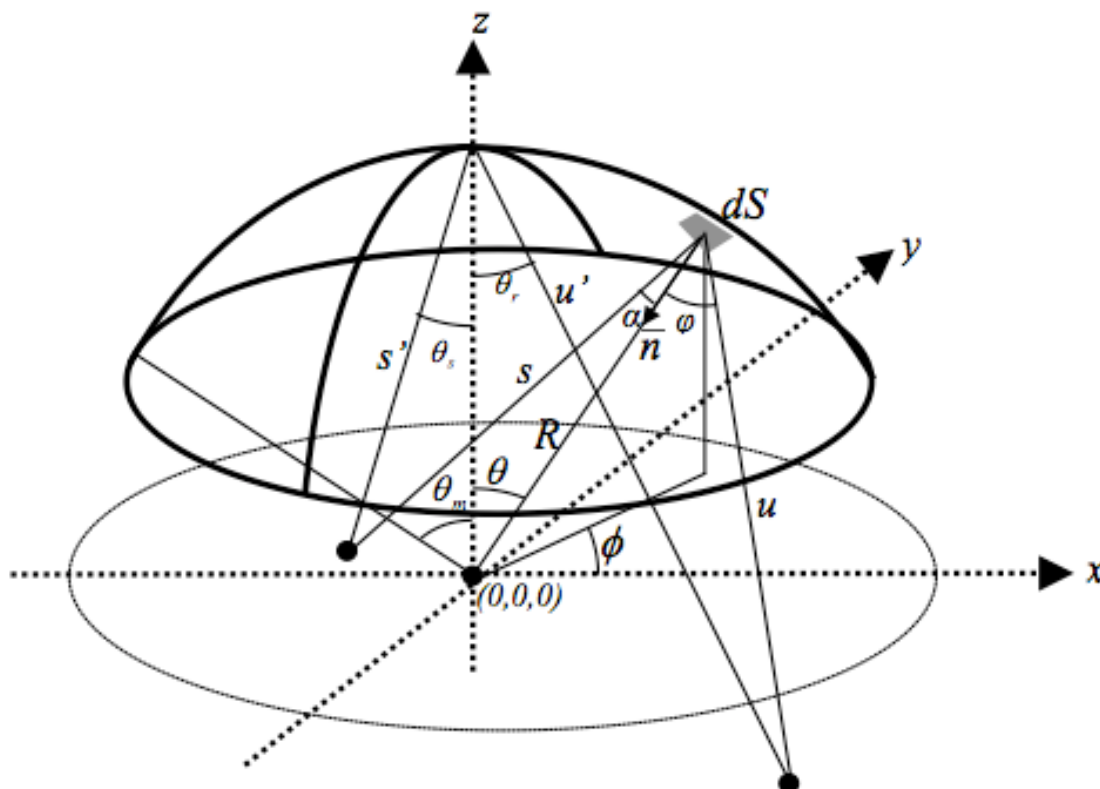


Fig.6 Reflexión en esfera.

Asumiendo una superficie esférica perfecta (sin ningún tipo de aberración), una reflexión total y la fuente colocada en el centro de la esfera, la presión reflejada sería acorde al siguiente gráfico:

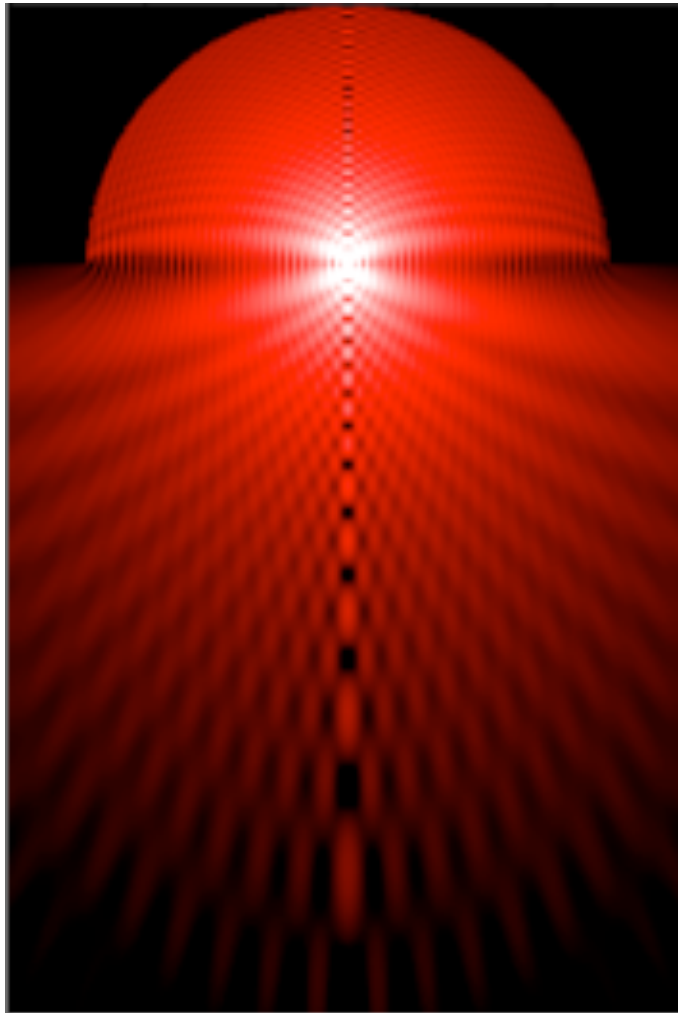


Fig.7 Nivel de presión sonora producido en una semiesfera.

La imagen muestra el resultado para una frecuencia de 1000Hz y un radio de curvatura de 5,4m. El rango de colores es “Blanco=+10dB, Negro=-20dB”.

La presión reflejada no depende del radio de la esfera, sólo depende del ángulo de apertura y de la frecuencia (a diferencia de en la acústica geométrica, en la que la focalización es independiente de la frecuencia). La dependencia de la frecuencia es lineal y al elevar la frecuencia se obtendrá una focalización más acentuada.

La presión en el plano focal será elevada en el foco, decrecerá rápidamente y se obtendrán lóbulos de amplificación separados por zonas de sombra debidas a interferencias. Al reducir la frecuencia, los lóbulos tendrán menos amplitud pero abarcarán más distancia.

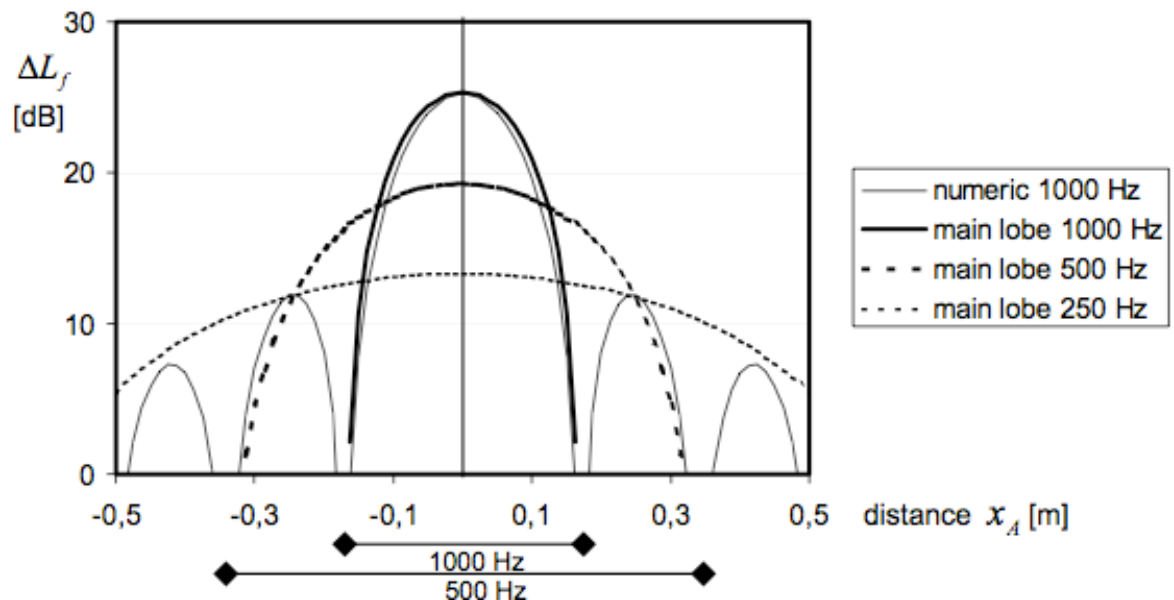


Fig.8 Incremento de SPL en el plano focal de una semiesfera.

Cilindro:

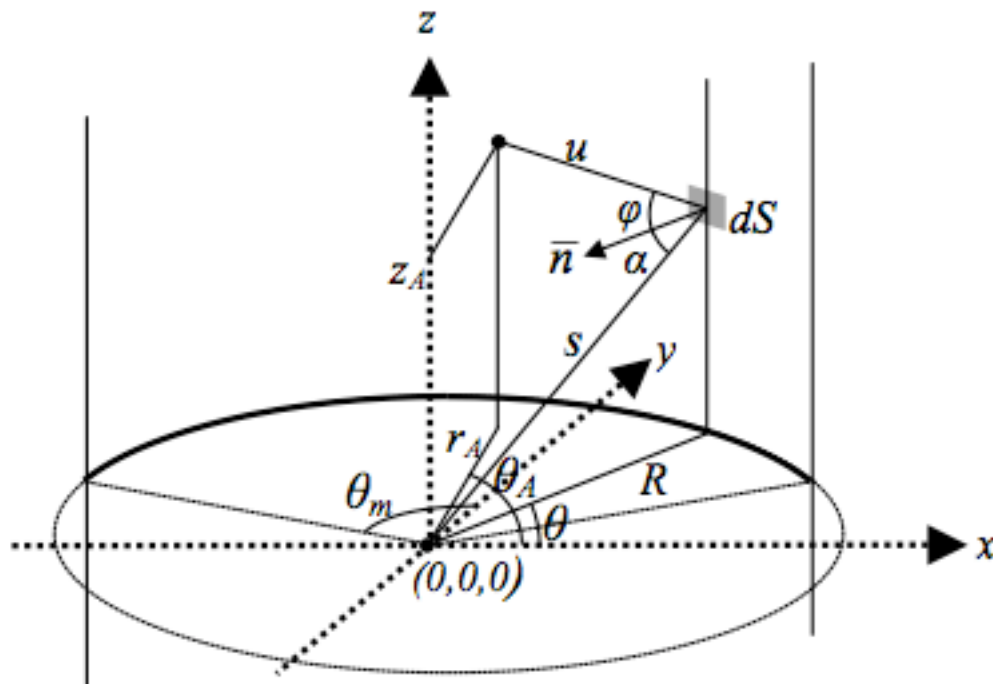


Fig.9 Reflexión en cilindro.

A diferencia de en la esfera, en la que las reflexiones convergen en dos direcciones, en el caso del cilindro las reflexiones convergen en una dirección y divergen en la otra. El resultado es también aquí dependiente de la frecuencia pero en este caso el resultado también será dependiente del radio del cilindro.

Al igual que en la esfera, aparecerán una gran amplificación en el punto focal, seguida de lóbulos de amplificación menores separados por zonas de sombra. Un ejemplo de este comportamiento lo podemos observar en la figura siguiente. En ella se muestra los valores del SPL en el plano focal de un cilindro comparados con los resultados obtenidos por la acústica geométrica.

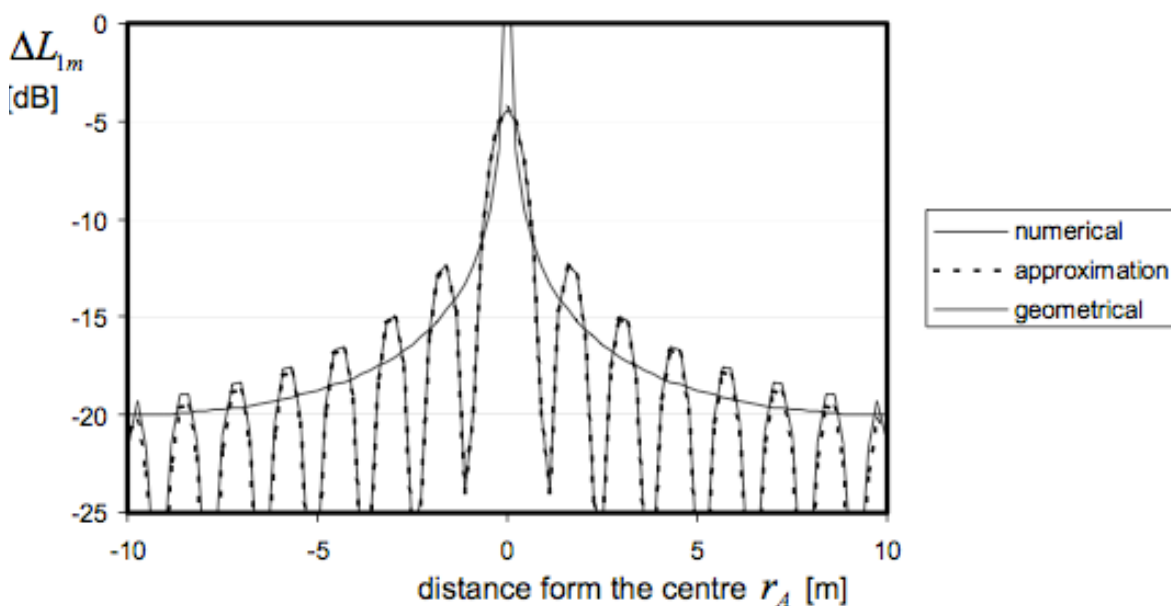


Fig.10 Ejemplo del resultado de los cálculos para un cilindro de radio $R=10\text{m}$ para una frecuencia $f=125\text{ Hz}$.

4.5.- PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

[Christensen 13b] [Vorländer 11] [Rindel 00]

Los programas de simulación basados en acústica geométrica modelan las superficies curvas como pequeñas superficies planas, segmentando la superficie curva. Esta segmentación influenciará el cálculo de la presión en el punto focal. Además, en los métodos que utilizan estos programas, el fenómeno ondulatorio no está incluido, con lo que asumen que el reflector es grande comparado con la longitud de onda (valido para altas frecuencias).

Los programas de acústica geométrica utilizan diferentes métodos para la simulación. Estos métodos son “Image Source Methods” (ISM), “Ray Tracing” (RT) y “Beam Tracing” (BM).

El método ISM se fundamenta en que al encontrar una superficie, el frente de onda que se refleje será idéntico al formado por una fuente situada en la dirección del rayo reflejado pero ignorando la superficie.

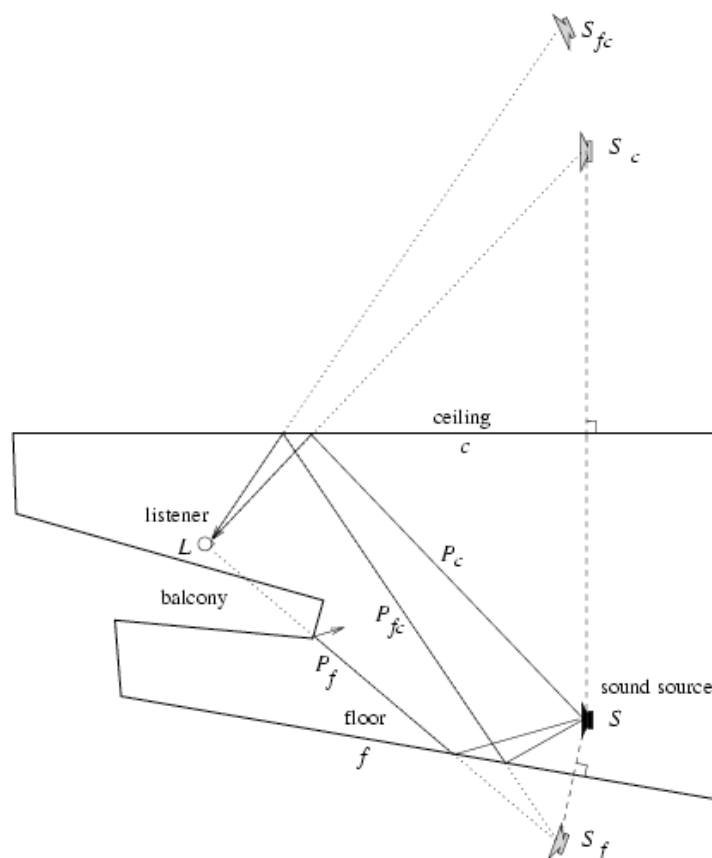


Fig.11 Representación del método ISM.

El método de trazado de rayos utiliza un gran número de partículas, que son emitidas en varias direcciones desde una fuente. Las partículas pierden energía cada vez que son reflejadas por una superficie, dependiendo del coeficiente de absorción de la superficie. La dirección de propagación al reflejarse se determina de acuerdo a la Ley de Snell. Los rayos son detectados usando un receptor esférico de cierto volumen.

Con este método, no todos los rayos reflejados en una superficie cóncava se reflejarán en el punto focal. La reflexión de cada rayo tendrá que ver con el ángulo de incidencia sobre la superficie segmentada que le corresponda según su trayectoria. Por tanto, cuando existe una superficie curva segmentada, y la fuente esté en el centro, la energía se extenderá alrededor del punto focal. Con este método, la presión en el punto focal no se incrementará al aumentar la segmentación de la superficie, ya que el número de rayos que detecte el receptor depende del número de rayos emitidos por la fuente y del ángulo de apertura de la superficie cóncava.

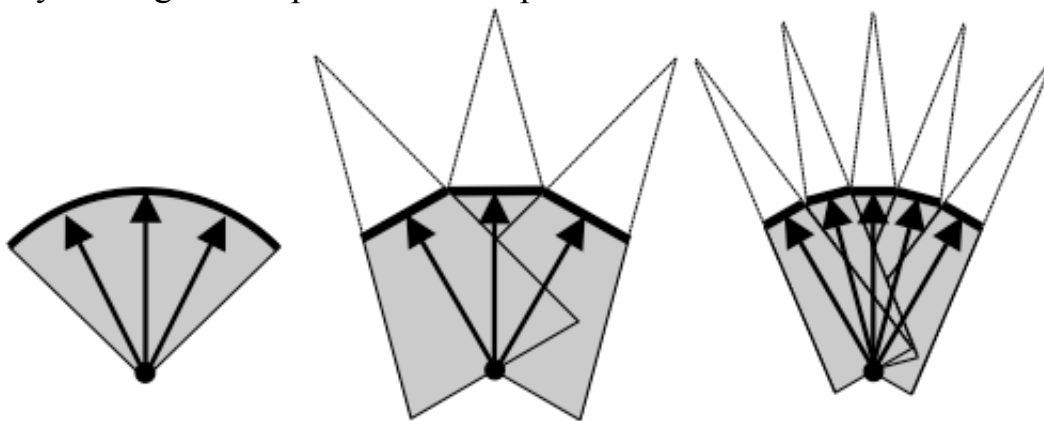


Fig.12 Reflexión de rayos en curvas segmentadas.

El programa de simulación que se utilizará será Odeón. Odeón es un programa de simulación acústica de salas basado en el método de trazado de rayos y el método Image Source Method para las primeras reflexiones.

Odeón da varias recomendaciones a la hora de modelar superficies. En general, indica que las superficies sean mayores que la longitud de onda de frecuencias medias. A la hora de modelar superficies curvas no aconseja utilizar muchas superficies. Las divisiones cada 10° - 30° son las que sugiere para reproducir la focalización, aunque este punto no está comprobado.



Existe una herramienta en Odeón que nos permite reducir la dispersión al tener varias superficies componiendo una curva. Al poner a las superficies que forman la curva en la lista de materiales la propiedad “fractional”, tendrá en cuenta el área total de las diferentes segmentaciones al calcular la dispersión.

Odeón no deja elegir el tamaño del receptor.

Odeón permite añadir un coeficiente de dispersión a las superficies, por lo que aunque esté basado en la acústica geométrica, el fenómeno de la dispersión si que está contemplado.

5. DESARROLLO DEL TRABAJO

5.1.- HIPÓTESIS INICIALES

A partir del objetivo inicial de investigación por la que se quería analizar la capacidad de los programas de simulación a la hora de reproducir el comportamiento sonoro de una superficie curva y la focalización que esta produce, se formularon diferentes hipótesis y se realizaron experimentos para comprobar o rechazar dichas hipótesis.

Las distintas etapas en el desarrollo de este trabajo serían:

- Estudio del estado del arte de la materia en cuestión y profundización de la bibliografía.
- Estudio de geometrías simples.
- Modelización geométrica de la sala Test y caracterización acústica de la misma para un perfecto ajuste de los parámetros.
- Análisis de la simulación de la focalización en la sala test.

El estudio del estado del arte viene explicado en el Capítulo 4: Trabajo Teórico. En este se llegó a varias conclusiones como:

- La energía en el punto focal de una superficie cóncava tiende a infinito según la acústica geométrica.
- La reflexión del sonido en una superficie curva se puede obtener reemplazando el contorno circular por un polígono regular.
- Usando el método de trazado de rayos, al aumentar el número de superficies aumenta la precisión de los resultados obtenidos, aunque al aproximarse al plano focal la densidad de energía se desvía de la correcta.
- El resultado es independiente de la frecuencia para la acústica geométrica, pero no para la teoría ondulatoria.
- En una esfera, el nivel de presión sonora no depende del radio de la esfera pero si en el caso del cilindro.
- En Odeón, la segmentación ideal de una superficie curva es aquella que las divisiones están realizadas entre 10° y 30° .
- Al poner a los materiales en Odeón la propiedad “fractional” reduce la dispersión de los rayos y por consiguiente aumentará la focalización.

5.2.- SALA TEST

La sala test real utilizada en esta experiencia es la Ermita de San Pedro de Etxano. Su geometría es, en principio, apropiada para este estudio, ya que cuenta con un semicilindro en el fondo y en el techo. La sala tiene forma rectangular, con techo de bóveda de cañón. El material mayoritario en la sala es piedra de sillería.



Fig.14 Exterior de la Ermita San Pedro de Etxano

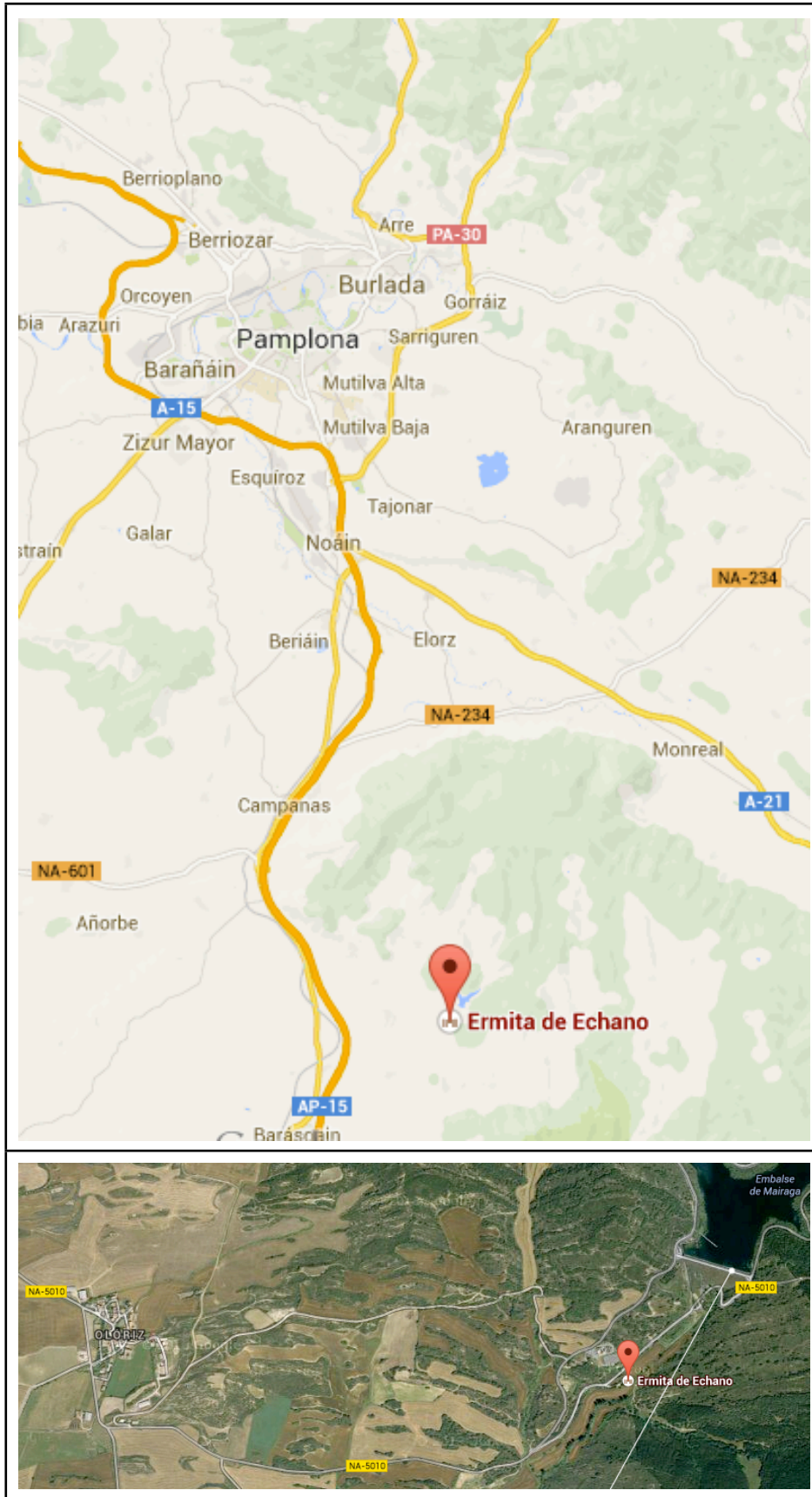


Fig.13 Localización geográfica de la sala test.



Fig.15 Vista del fondo semicilíndrico de la Ermita San Pedro de Etxano.



Fig.16 Vista desde el altar de la Ermita San Pedro de Etxano.

Modelización de superficies curvas en la simulación de campos sonoros focalizados

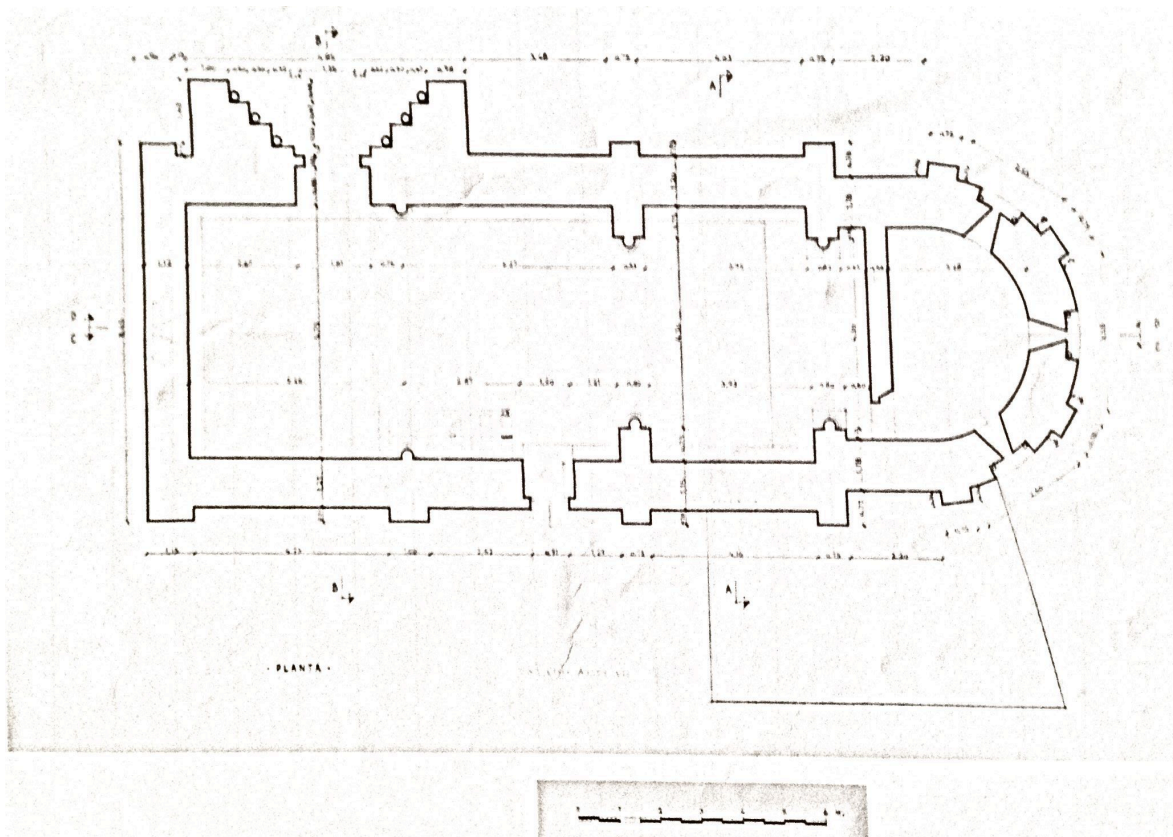


Fig.17 Planta de San Pedro de Etxano.

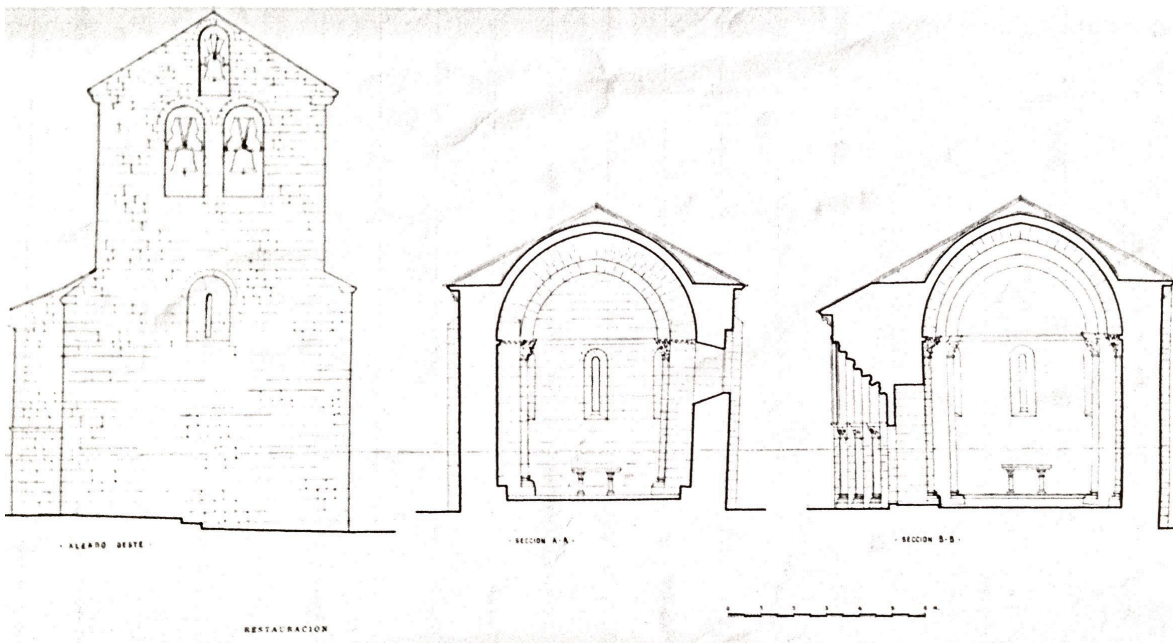


Fig.18 Alzado San Pedro de Etxano.

La sala se emplea tanto para ceremonias religiosas y romerías, como para conciertos corales, folklóricos y de música sacra.

El problema más importante que encontramos en esta sala es que tiene un tiempo de reverberación demasiado elevado.

Se realizaron mediciones “in situ” en la sala del tiempo de reverberación, Nivel de Presión Sonora y otros parámetros acústicos. Estos datos se utilizarán para validar las simulaciones realizadas y comprobar el grado de acercamiento de la simulación a la realidad.

5.2.1.- Informe del ensayo según la norma UNE-EN-ISO 3382:

- Don Miguel Remiro declara que las mediciones realizadas en este ensayo se hicieron de acuerdo a la norma UNE-EN-ISO 3382.
- La sala objeto del ensayo es la Ermita de San Pedro de Etxano, sita en en el municipio de Olóriz, Navarra, España.
- Esquema del recinto:

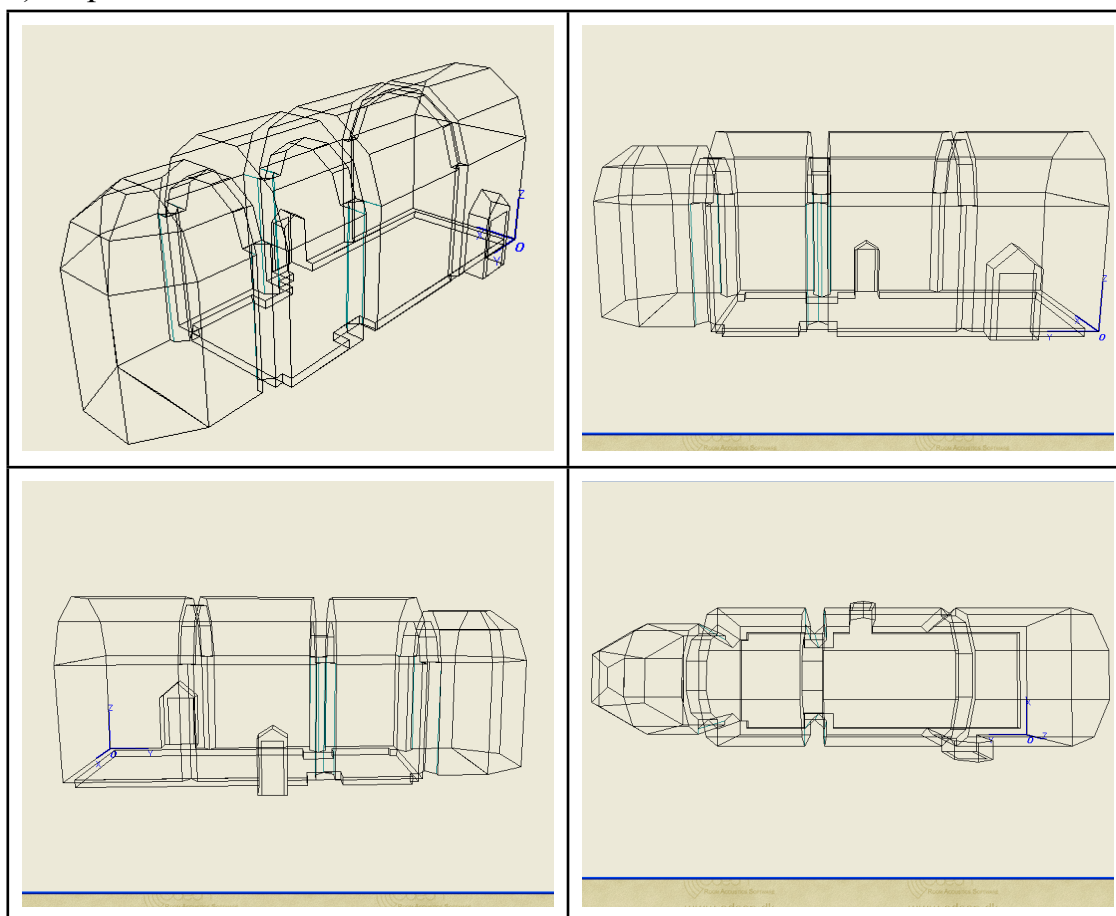


Fig.19 Esquema San Pedro de Etxano

- d) El volumen del recinto es 750m³. Camino libre medio: 5,0 m.
- e) El recinto consta de una única nave, con techo de bóveda de cañón y una de sus paredes inclinada hacia el interior 15°. El fondo presenta una pared con forma cilíndrica y en su parte superior, el techo tiene forma de cuarto de esfera. Las paredes, techos y suelos están hecho de sillería, y la pared del fondo está recubierta de yeso. Tiene dos puertas de madera a cada lado de la nave y pequeñas ventanas de alabastro en el fondo.
- f) Las mediciones se realizaron con la sala desocupada. Únicamente se encontraban en su interior las cuatro personas del equipo de medición.
- g) La temperatura durante el momento de la medición era de 12° y la humedad relativa era del 70%.
- h) El equipo de medición utilizado constaba de:

*Fuente acústica dodecaédrica DO12, constituida por doce altavoces montados en un bastidor dodecaédrico que permite crear un campo sonoro muy próximo al originado por una distribución esférica ideal. Sus diagramas de directividad son los siguientes:

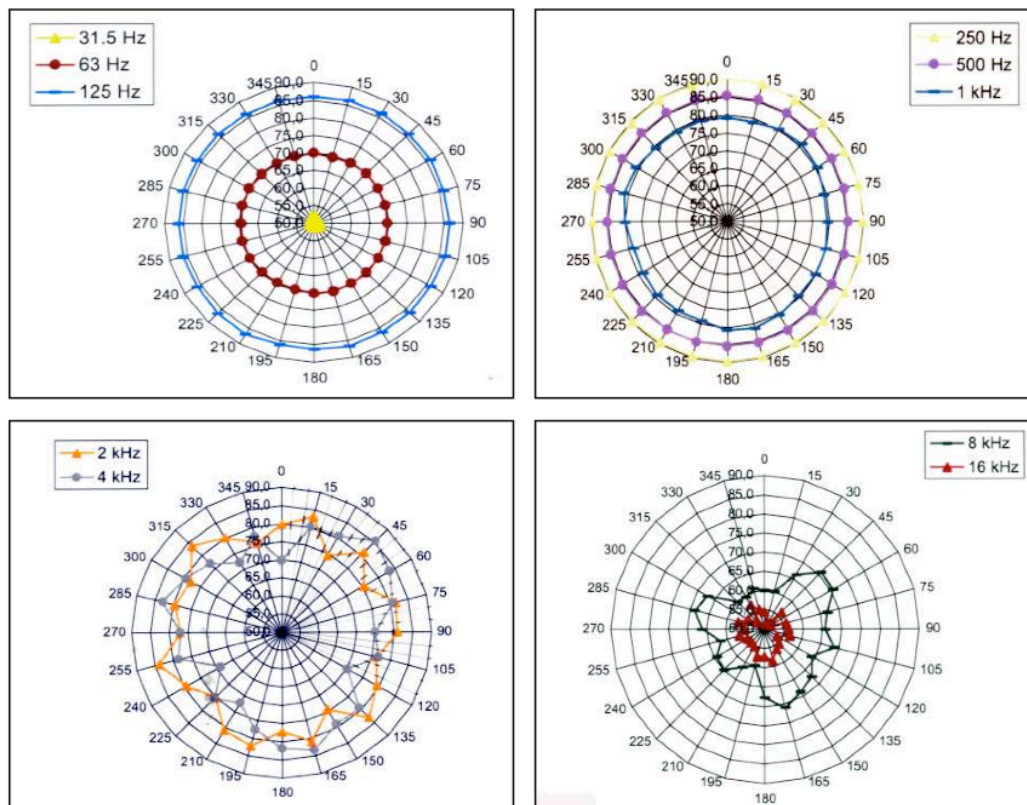


Fig.20 Diagramas de directividad fuente dodecaédrica.

- * Ordenador PC portátil TOSHIBA Satellite con winMLS software.
- * Tarjeta de sonido profesional VXPocket, conectada al portátil mediante Bus Type II PC card. La tarjeta tiene dos entradas analógicas mono balanceadas con conversores de 24 bits y frecuencia de muestreo de hasta 48kHz
- * Amplificador InterM-M1000.
- * Micrófonos GRAS: Micrófono omnidireccional GRAS tipo 40AC con una sensibilidad alrededor de 13mV/Pa. Su respuesta en frecuencia es:

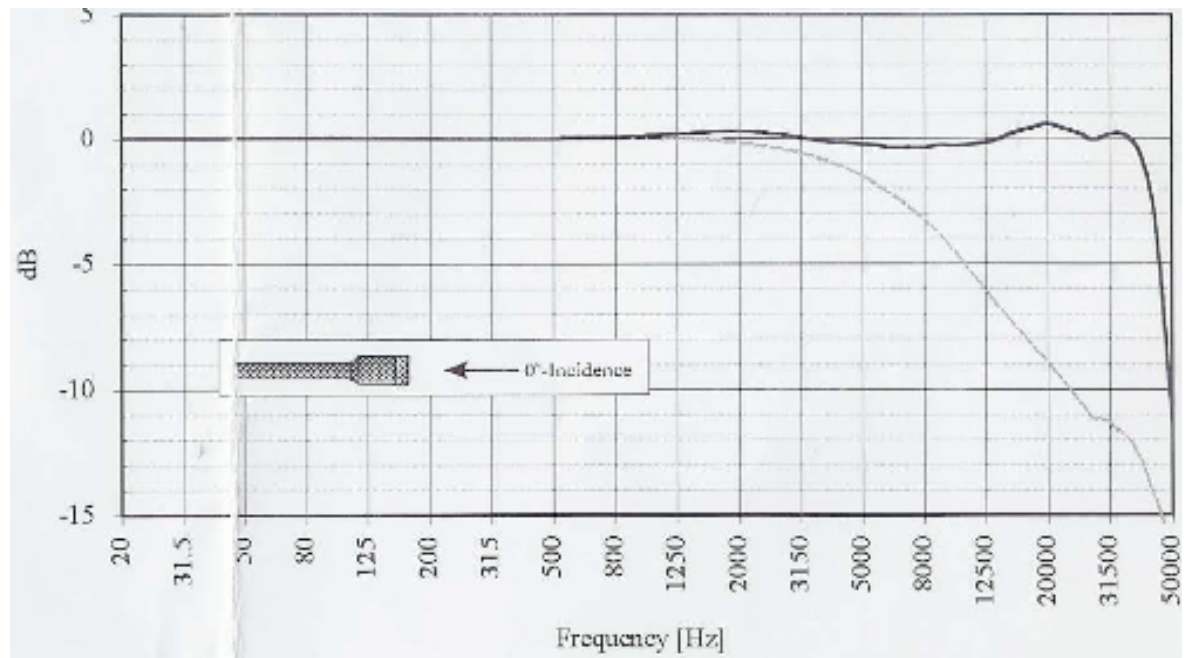


Fig.21 Respuesta en frecuencia micrófono GRAS 40AC

- i) La señal acústica utilizado fueron los Sweeps o barridos frecuenciales. Se realizaron para cada posición de micro un barrido frecuencial con una duración total de 40 segundos.

j) El esquema de la posición de los micrófonos y las fuentes es el siguiente:

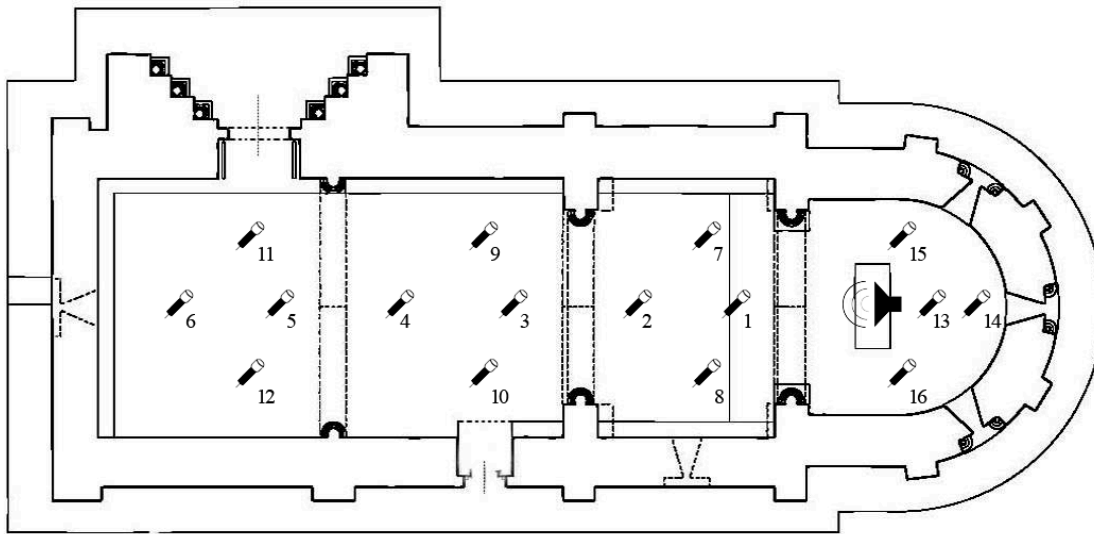


Fig.22 Disposición de micrófonos y fuentes.

k) Los resultados de las mediciones son los siguientes.

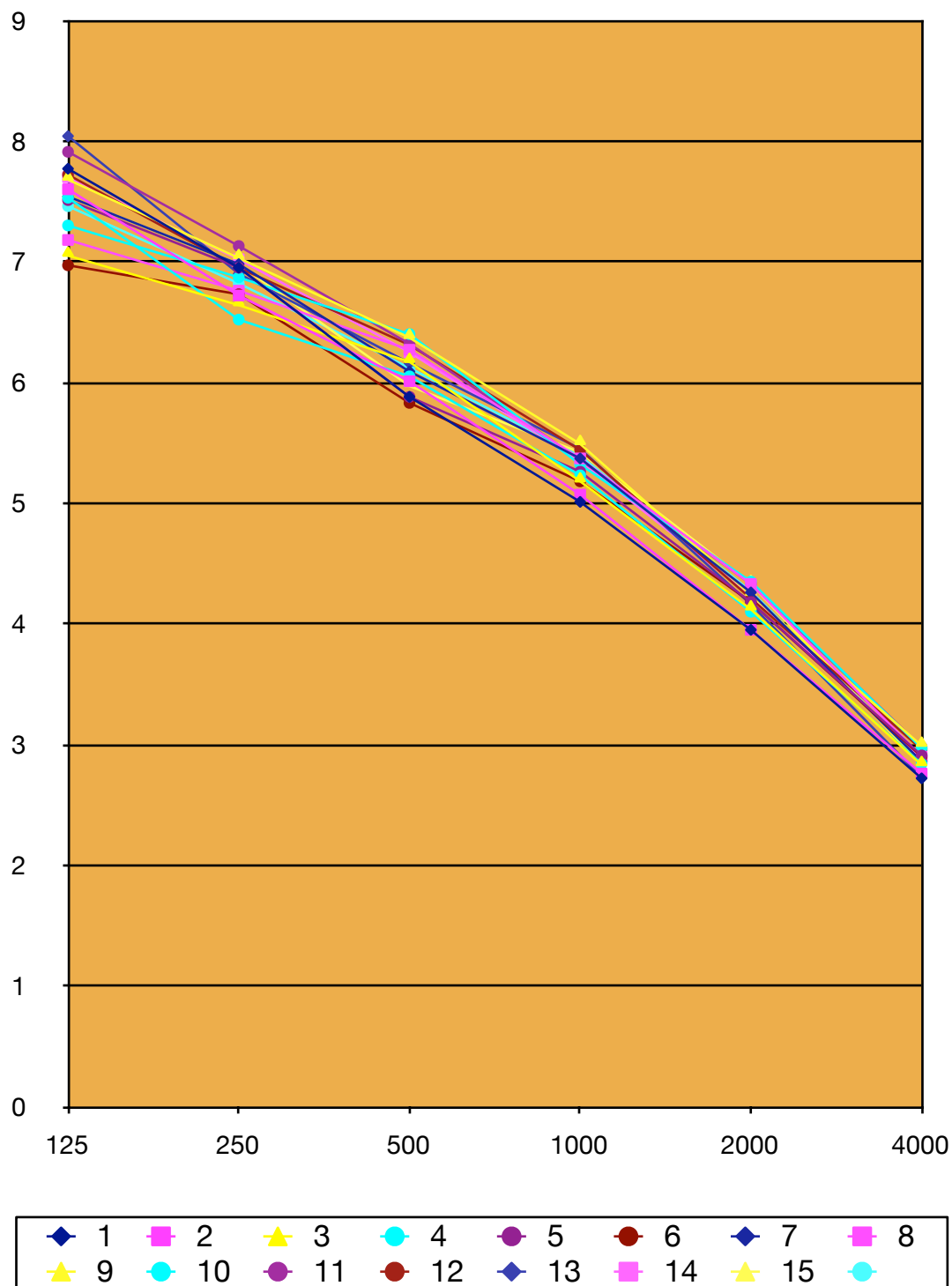


Fig.23 T20 medido

T20med=5,72s

l) Pamplona, a de junio de 2014, Departamento de Física, Universidad Pública de Navarra.

5.3.- CRITERIOS PARA LA SUBDIVISIÓN DE LAS SUPERFICIES CURVAS

Odeón es un programa de simulación acústica basado en el método de trazado de rayos. En este método, la energía de la onda esférica se divide en elementos que son asumidos como objetos discretos. Estos objetos se llaman rayos sonoros, se mueven a la velocidad del sonido y siguen las leyes de la acústica geométrica. La energía de estos rayos disminuye con el tiempo debido a la absorción del aire y de las superficies de la sala.

Para Odeón, todas las superficies de la sala en cuestión deben ser planas. Por lo tanto, se deberán representar las superficies curvas como superficies planas. Odeón da ciertas recomendaciones a la hora de sustituir las superficies curvas por otras planas:

- Para curvas convexas, dividir en superficies planas cada 90° .
- Para simular la focalización de curvas cóncavas, subdividir entre 10° y 30° .
- Subdividir en muchas superficies puede tener varios problemas como hacer el modelo visualmente complejo, con lo que sería más sencillo que apareciesen errores y fugas e incrementar el tiempo de cálculo.
- Nombrar el tipo de las superficies cóncavas como “fractional” hará que al subdividirlas en varias superficies el programa cuente el área de todas a la hora de calcular el scattering.

Uno de los objetivos del presente trabajo será comprobar hasta que punto estas recomendaciones son convenientes.

Para el desarrollo de las diferentes pruebas y estudios, se dividirán en un diferente número de superficies planas, lo que nos permitirá comparar los resultados entre ellas. Los ángulos utilizados para decidir el tamaño de estas superficies fueron: 90° , 60° , 45° , 36° , 30° , $22,5^\circ$, 18° , 15° , 10° , 5° , 3° . El motivo de seleccionar estos ángulos y no otros es que al dividir una circunferencia se obtienen polígonos regulares pares. El hecho de que sean pares es necesario para poder obtener simulaciones de semiesferas y semicircunferencias.


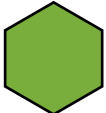

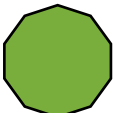








Ángulo	Polígono	Lados
90°		4
60°		6
45°		8
36°		10
30°		12
22,5°		16
18°		20
15°		24
11,25°		32
5°		72
3°		120
0°		

Tabla 3. Conversión de circunferencias en polígonos regulares.



Además, se utilizarán para crear estas superficies dos funciones propias del editor de Odeón: “Cylinder” y “Dome”. La función “Cylinder” subdivide periódicamente en el número de superficies que se indiquen una curva con un único eje de curvatura. La función “Dome” subdivide periódicamente una curva con dos ejes de curvatura.

Al utilizar estas dos funciones para subdividir las curvas, se decidió que las salas se modelarían utilizando el editor de Odeón para ello.

5.4.- EDITOR ODEÓN

Odeón utiliza archivos .par para obtener las geometrías de las salas a analizar. Estos archivos son archivos de texto y contienen la información necesaria para modelar la sala. Utilizan el lenguaje de modelado paramétrico. Se puede utilizar el editor ODEONedit para crear y modificar archivos.

Para crear modelos de salas con este lenguaje es necesario, en primer lugar, conocer sus capacidades y su funcionamiento básico. El manual de Odeón, en su Apéndice E, explica estas capacidades, además de mostrar las funciones predefinidas. También tiene un apartado dedicado a exponer algunos ejemplos prácticos.

Modelar salas mediante este lenguaje no es tan inmediato o visual como hacerlo en otros programas como puede ser Google SketchUp, pero puede tener otras ventajas como pueden ser:

- Para modelar salas con un gran número de superficies, puede reducir la posibilidad de que existan fugas en el modelo.
- Permite modificar rápidamente algunos parámetros de la sala modelada (en este caso, el número de superficies en el que se dividirá la curva) sin necesidad de rehacer toda la sala.
- Las funciones predeterminadas son muy útiles para dividir equitativamente las superficies curvas.

Bien es cierto que para modelar las salas utilizando este lenguaje, hay que tener cierta capacidad o entrenamiento, y es importante haber realizado un trabajo previo. Unos buenos planos de la sala, con los que se puedan obtener todas las distancias entre los puntos que la conforman es indispensable. Si no se dispone de él, habrá que realizar las mediciones in-situ lo más precisas posible.

Cuando se tengan los planos completos, el siguiente paso es apuntar en ellos el número de todos los puntos del plano. Se necesitarán varios planos para poder tener todos los puntos ya que, por ejemplo, apuntar en un mismo plano los que se encuentren en la misma vertical en un plano de planta puede conducir a errores al no saber a qué altura está cada punto.

Seguidamente es importante hacer dos listas. En la primera, aparecerán el nombre de todos los puntos de la sala relacionados con las coordenadas de su posición:

Punto	X	Y	Z
1	5,2	3,1	0
2	5,2	3,1	2
3	6,3	7,7	0
etc			

Tabla 4. Ejemplo tabla de puntos.

En la tabla de ejemplo superior, el punto 1 estará en las coordenadas X/Y/Z 5,2/3,1/0.

La segunda lista relacionará los puntos entre si, formando las superficies:

Superficie	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	etc
1	45	23	25		
2	109	23	42	7	
3	12	13	15	10	
etc					

Tabla 5. Ejemplo tabla superficies.

En la tabla de ejemplo superior, los vértices de la superficie 1 serán los puntos 45, 23 y 25. En esta tabla solamente estarán las superficies planas.

El método utilizado para modelar las salas del presente PFC consiste en introducir primero los puntos que formarán las esquinas de las superficies planas, para después definir estas. Después, cuando se tengan definidos todos los puntos y todas las superficies planas, se utilizarán diferentes funciones del Editor de Odeón para crear las superficies curvas.

5.5.- GEOMETRÍAS SIMPLES

Primeramente, se simularon salas ficticias pero que en su geometría presentasen la mayor cantidad de superficies curvas posibles. El objetivo de simular este tipo de salas es el de poder comprobar el acercamiento del programa de simulación a lo expuesto en la acústica geométrica.

En nuestro caso, se simularon salas esféricas, cilíndricas, semiesféricas y semicilíndricas. Las medidas para diseñar estas salas se tomaron de las pruebas y los cálculos que aparecen en la tesis de Vercammen, con el fin de poder tomar esos datos en comparación. Se diseñaron salas de radio 5,4m y 10,8m. El código del editor de Odeón utilizado para modelar estas salas se encuentra en el Anexo II.

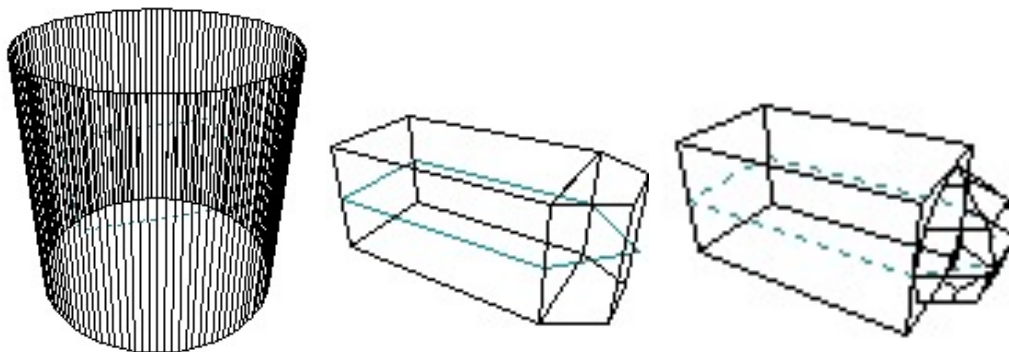


Fig.24 Modelos Odeón. Izq.: Cilindro. Centro: Semicilindro. Der.: Semiesfera.

El material utilizado para las superficies de las esferas y los cilindros tienen una absorción del 10%. En las semiesferas y semicilindros, la parte curva tiene una absorción del 10%, y el resto una absorción del 100%. Aunque en la teoría se suponían superficies con reflexión total, se decidió utilizar una absorción del 10% para evitar, sobre todo en el caso de las esferas, un número excesivamente alto de reflexiones, que provocaría problemas en el programa a la hora de simular.

En la simulación de estas salas ficticias se utilizó un coeficiente de “scattering” igual a 0. Aún así, se simuló tanto aplicando a las superficies curvas el atributo de “fractional” como sin aplicarlo, y se comprobó que el resultado no varió. El atributo “fractional” sólo afecta al “scattering” y si la superficie no tiene un porcentaje elevado del mismo no será relevante.

En cada sala ficticia, se tomaron seis receptores distribuidos a lo largo de un radio de manera uniforme, siendo el Receptor 1 el más cercano a la fuente y el Receptor 6 el más lejano. Estos receptores serán usados para comparar cada una de estas salas. Además se recogió la información de una malla de receptores cada 0,2m situada en el diámetro de cada esfera. La fuente se colocó en el centro de la esfera y se le asignó una potencia de 31dB en todas las bandas.

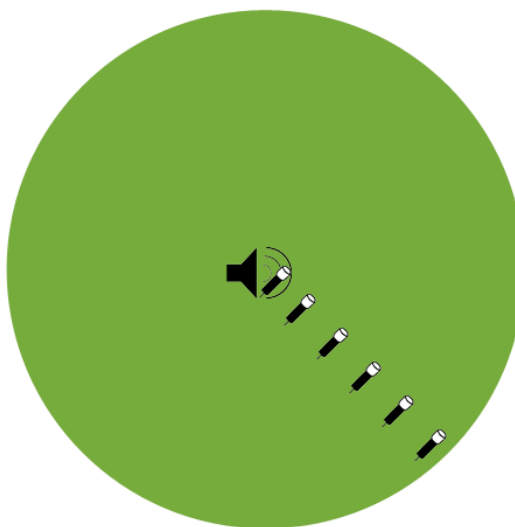
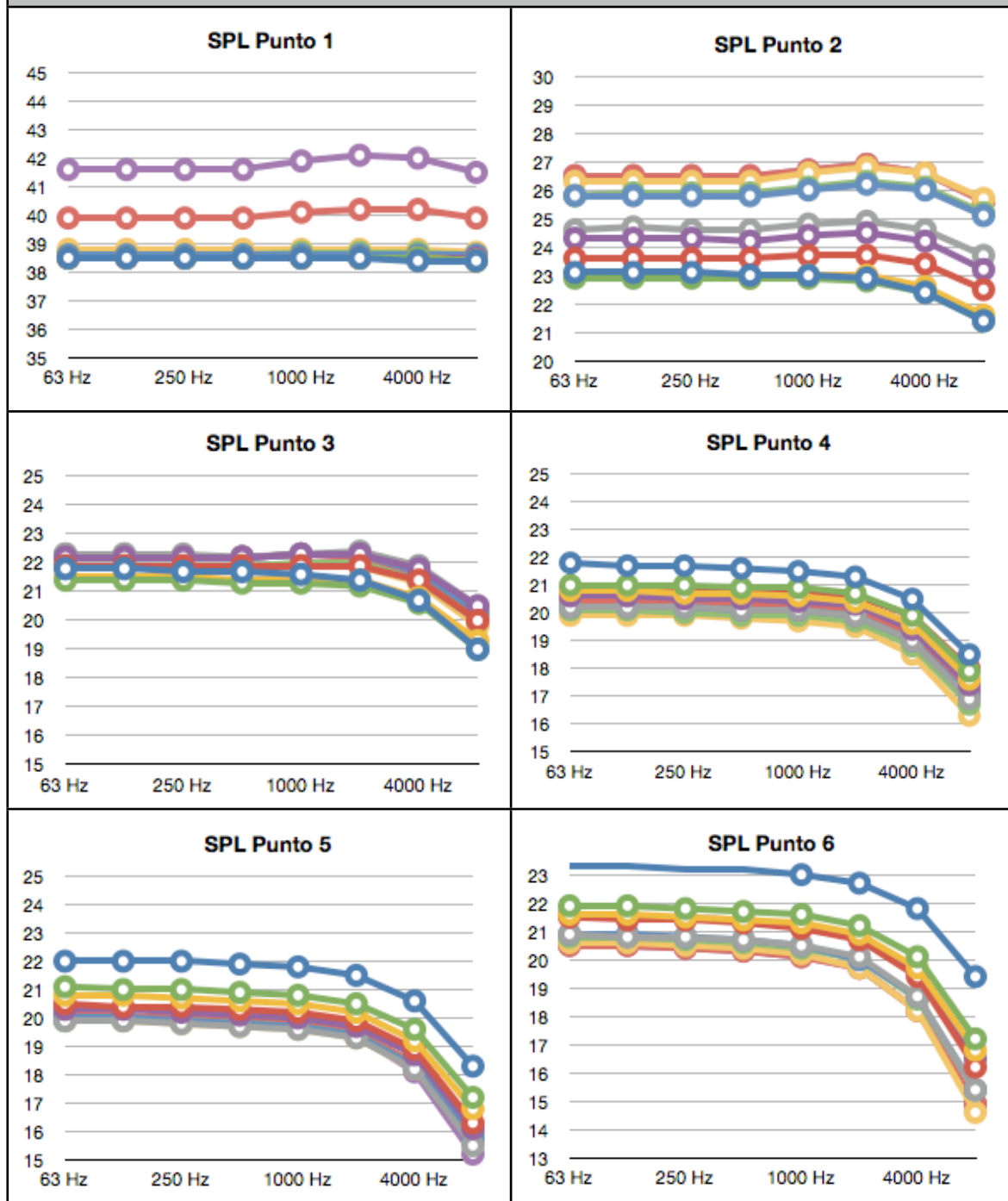


Fig.25 Disposición de micrófonos y fuentes en cilindro y esfera.

Las tablas completas de los resultados aparecen en el Anexo I.

ESFERA de radio 5,4m



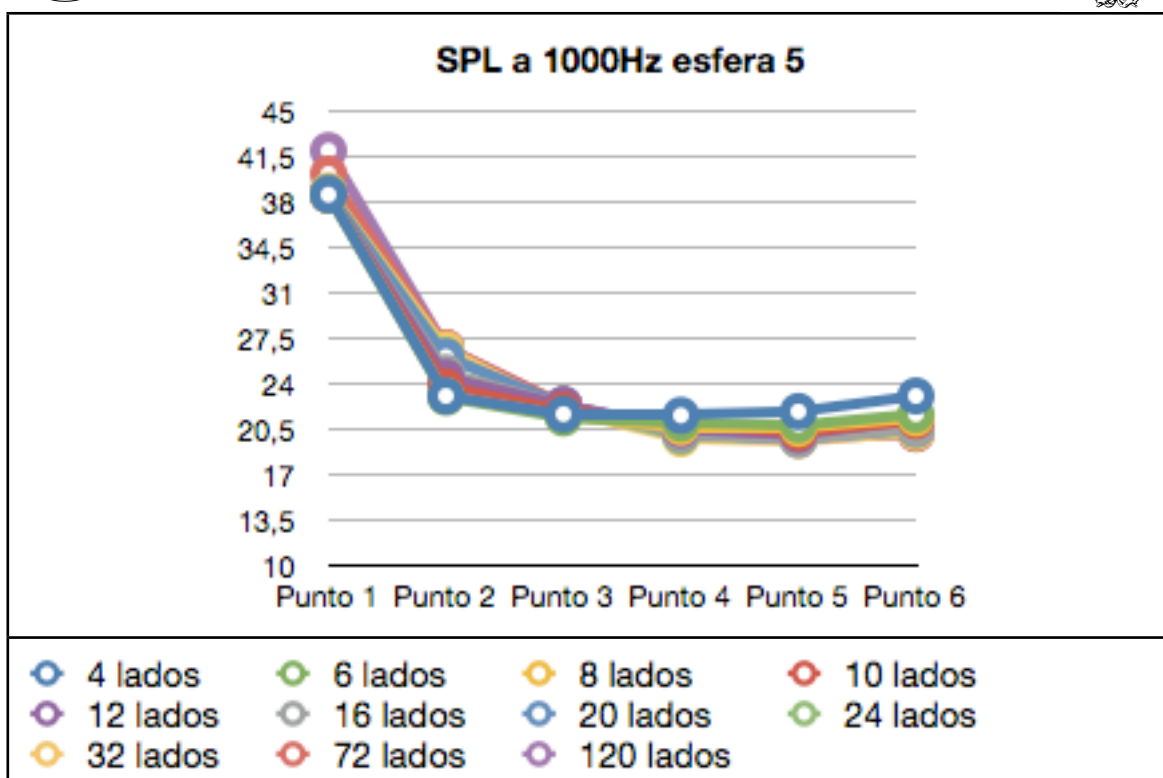
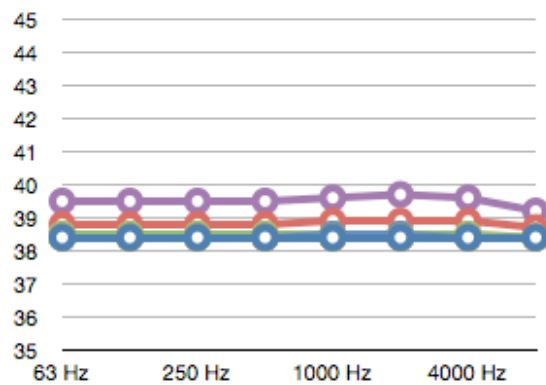


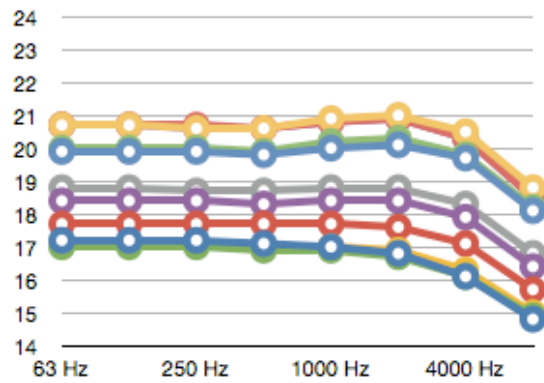
Fig.26 Resultados de SPL para cada receptor en la esfera de radio 5,4m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.

ESFERA de radio 10,8m

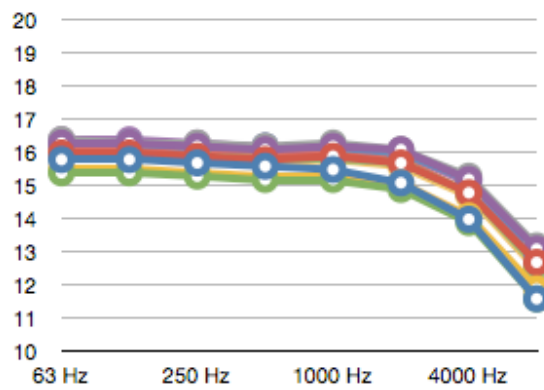
SPL Punto 1



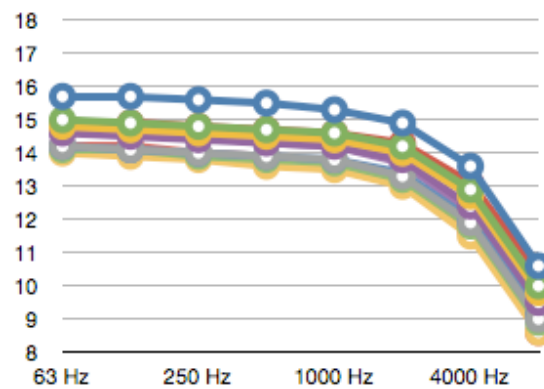
SPL Punto 2



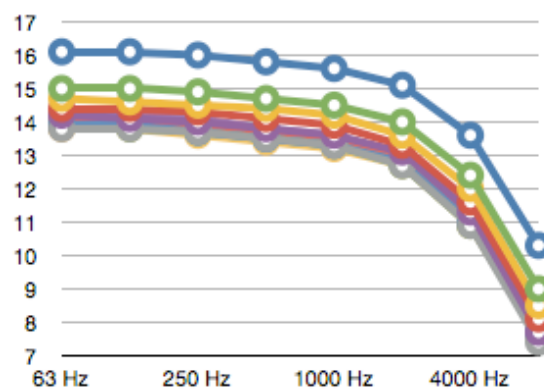
SPL Punto 3



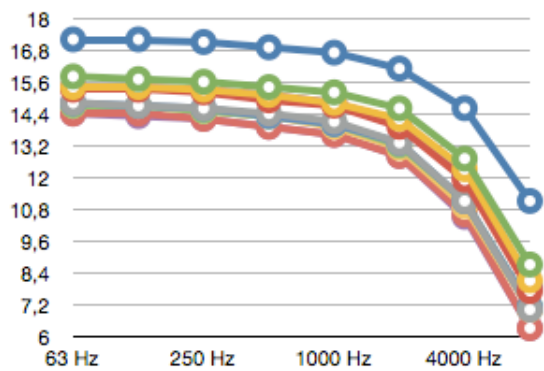
SPL Punto 4



SPL Punto 5



SPL Punto 6



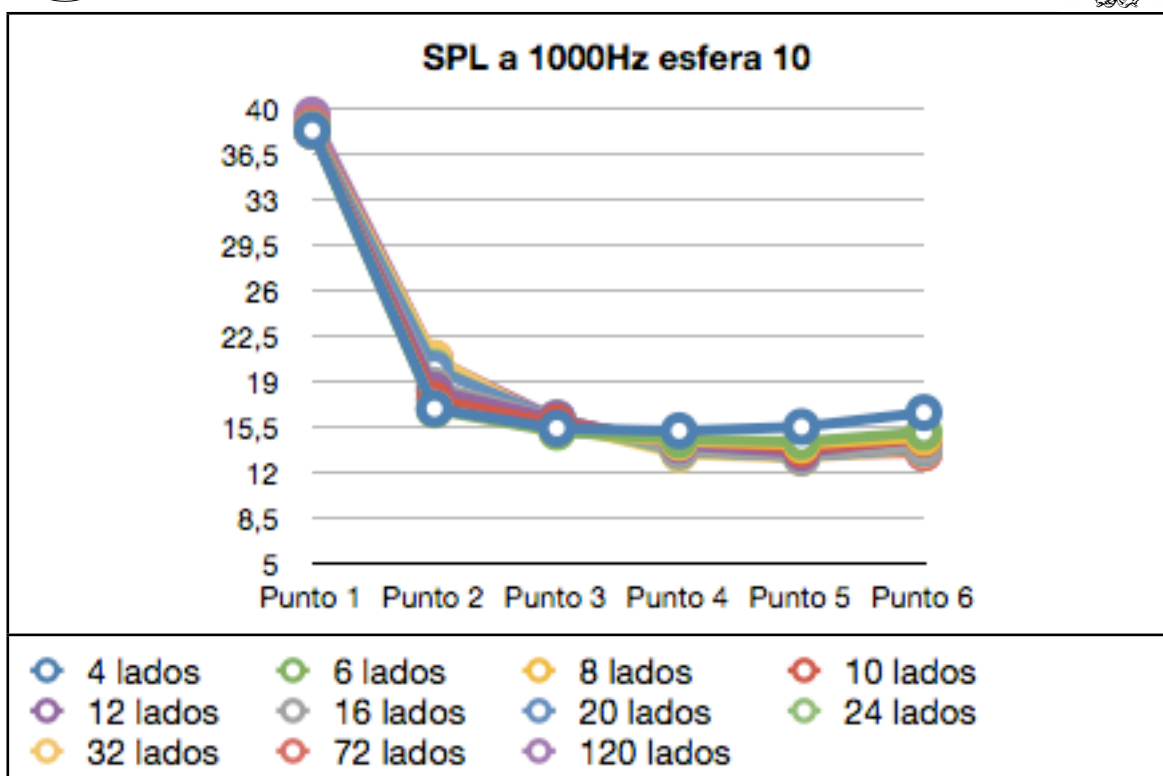
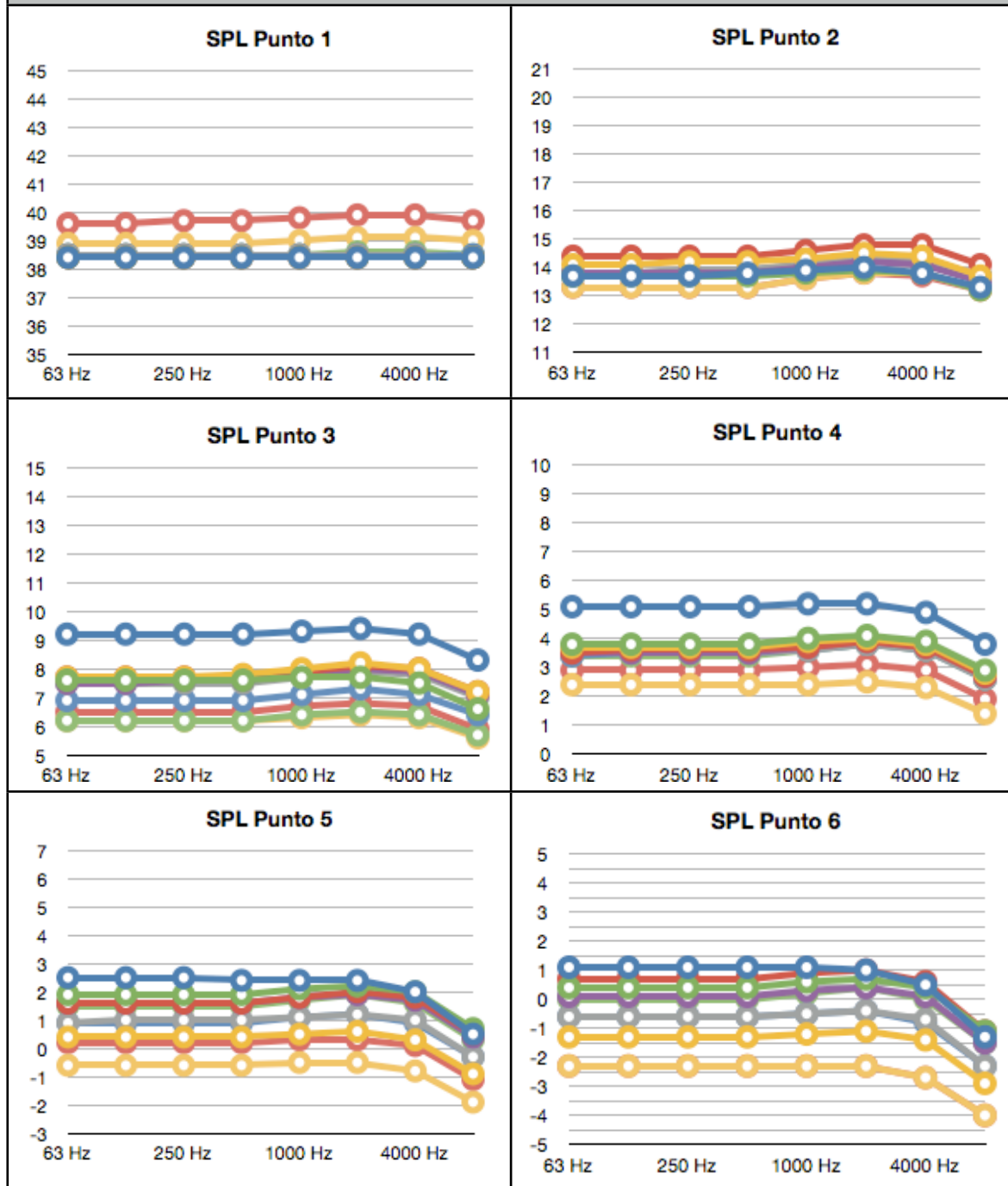


Fig.27 Resultados de SPL para cada receptor en la esfera de radio 10,8m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.

SEMIESFERA



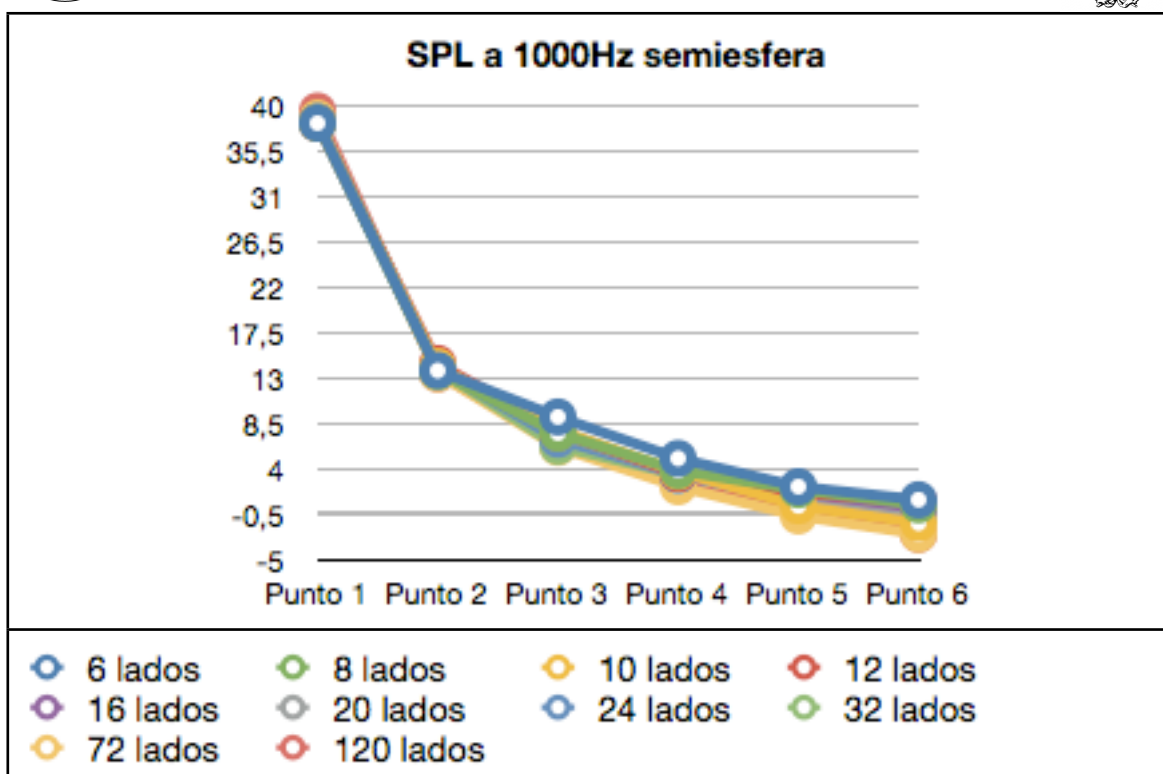
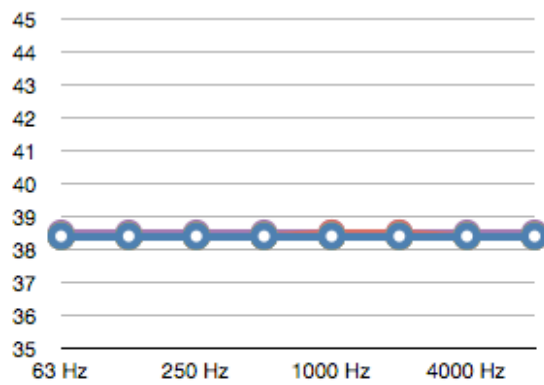


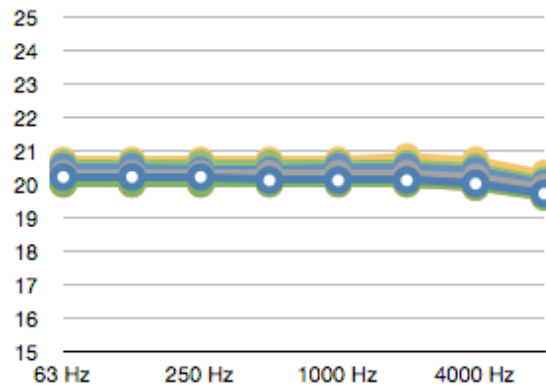
Fig.28 Resultados de SPL para cada receptor en la semiesfera y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.

CILINDRO de radio 5,4m

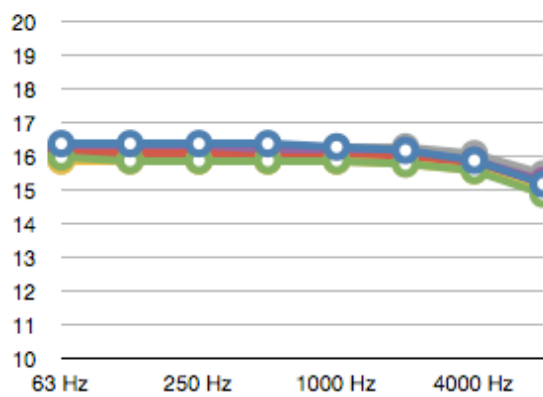
SPL Punto 1



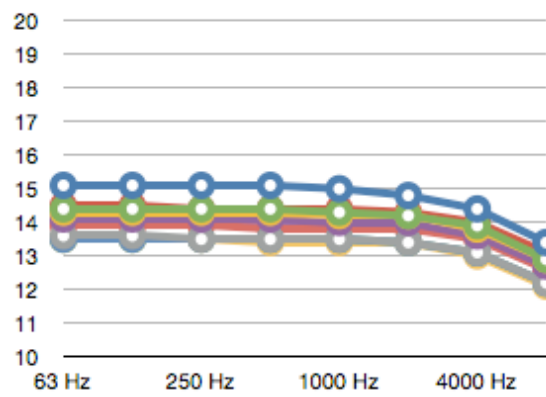
SPL Punto 2



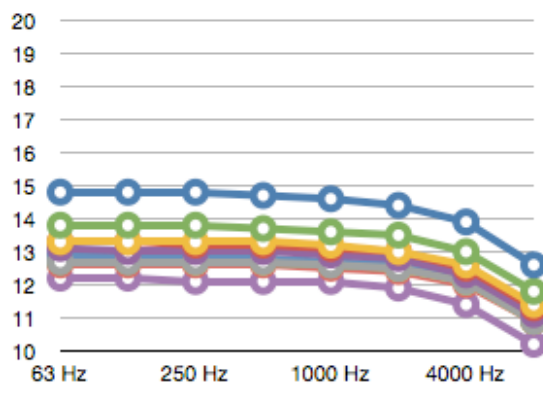
SPL Punto 3



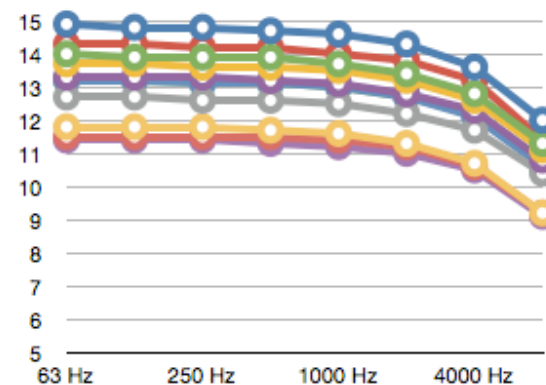
SPL Punto 4



SPL Punto 5



SPL Punto 6



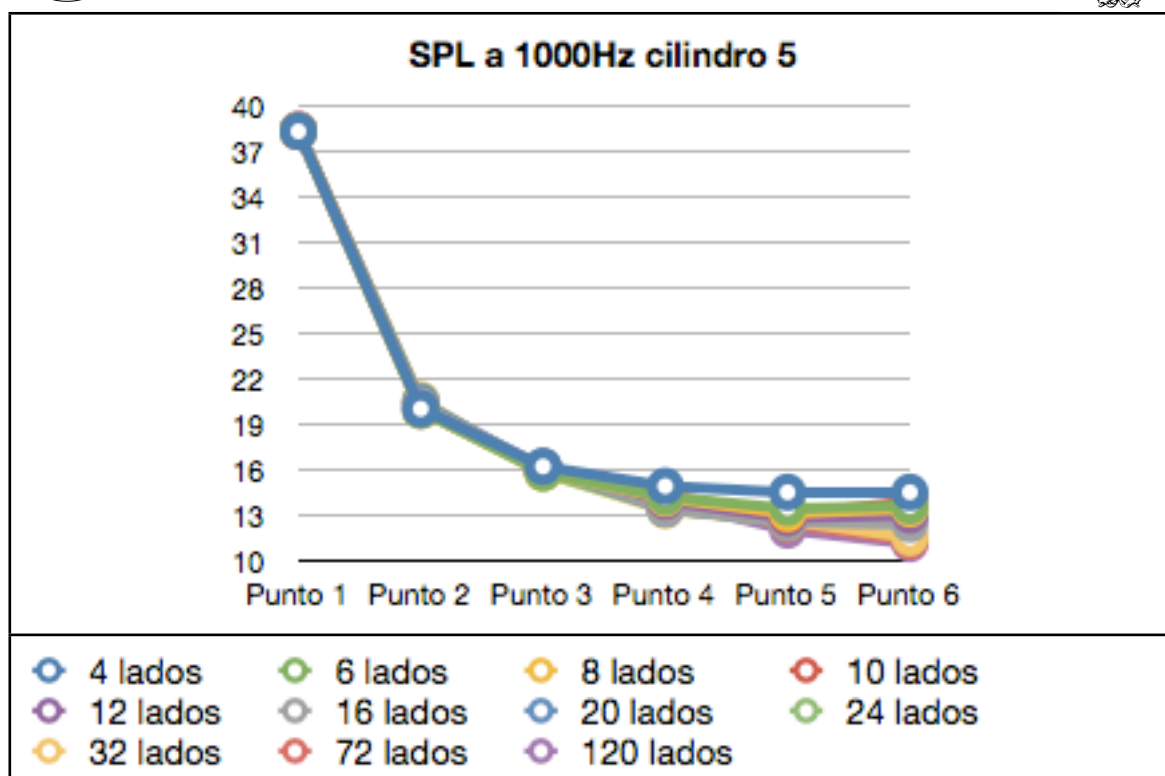
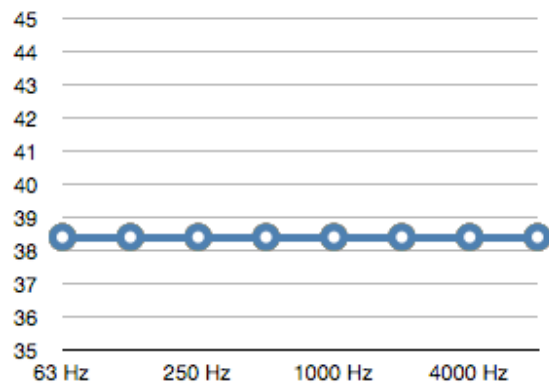


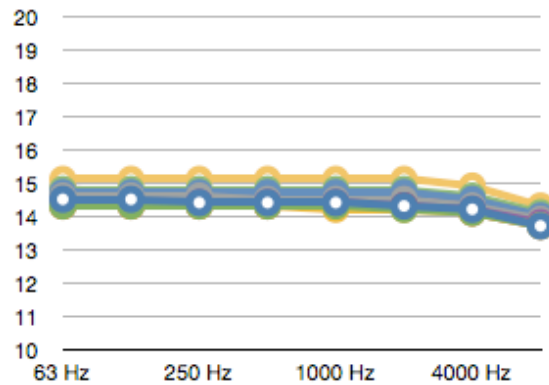
Fig.29 Resultados de SPL para cada receptor en el cilindro de radio 5,4m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.

CILINDRO de radio 10,8m

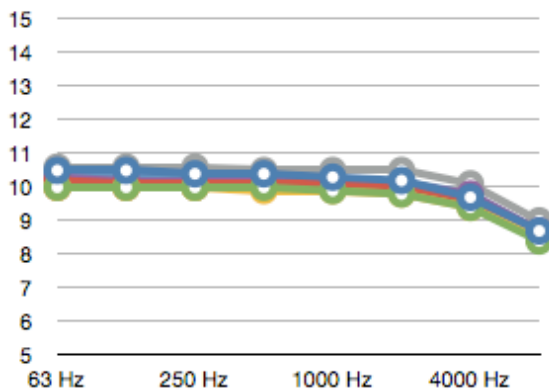
SPL Punto 1



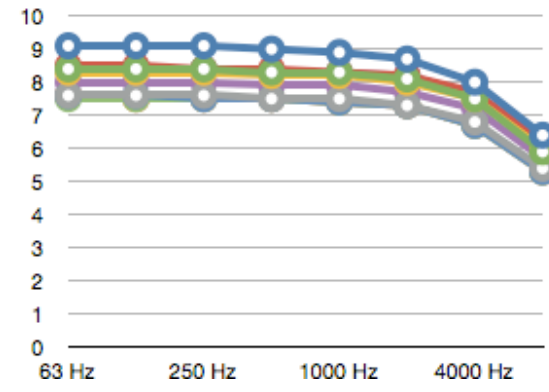
SPL Punto 2



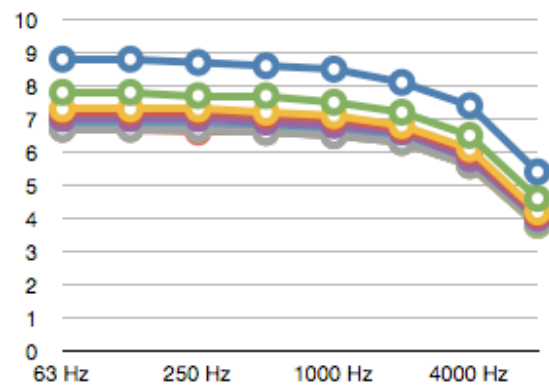
SPL Punto 3



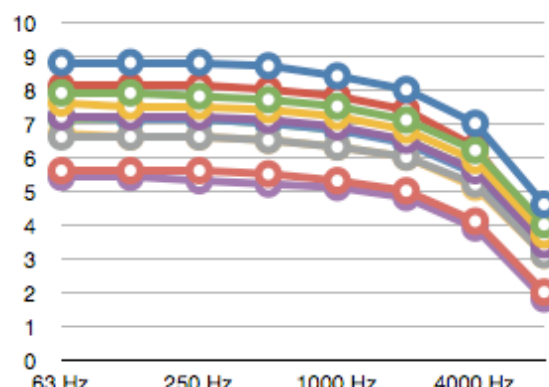
SPL Punto 4



SPL Punto 5



SPL Punto 6



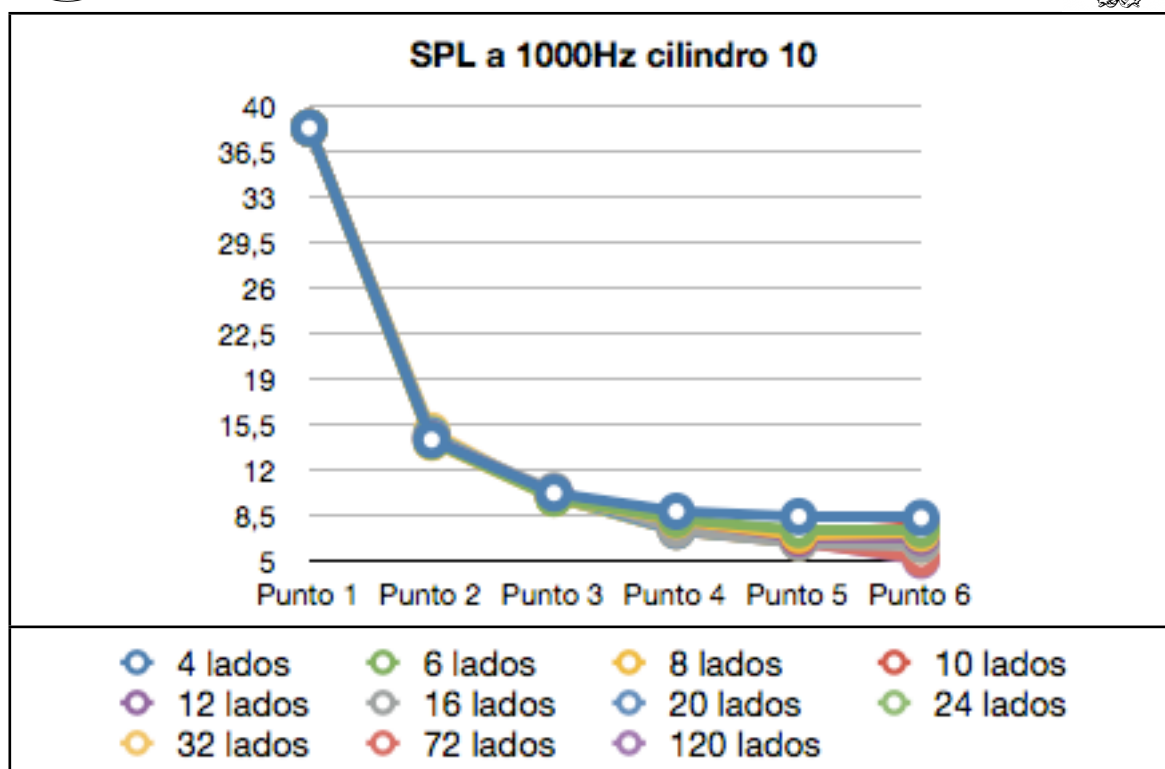
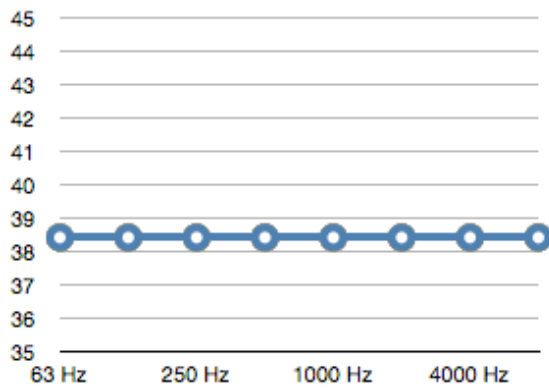


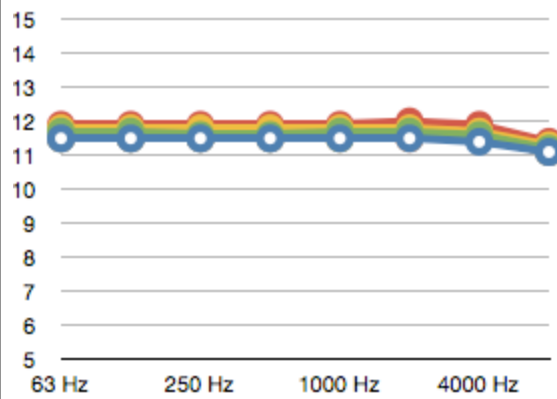
Fig.30 Resultados de SPL para cada receptor en cilindro de radio 10,8m y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.

SEMICILINDRO

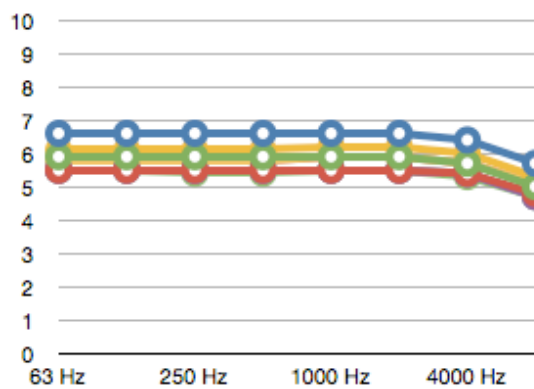
SPL Punto 1



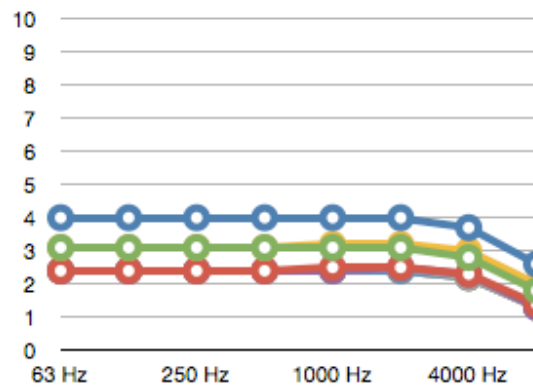
SPL Punto 2



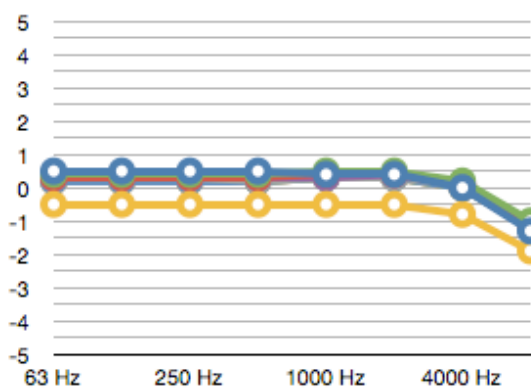
SPL Punto 3



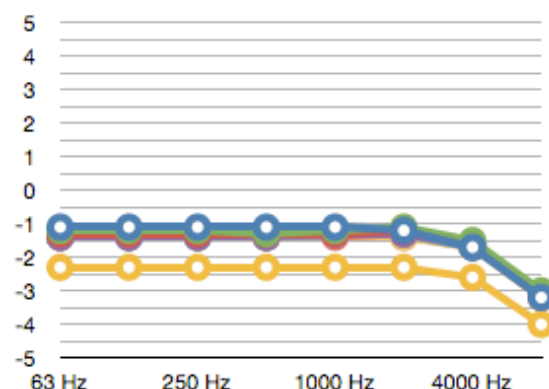
SPL Punto 4



SPL Punto 5



SPL Punto 6



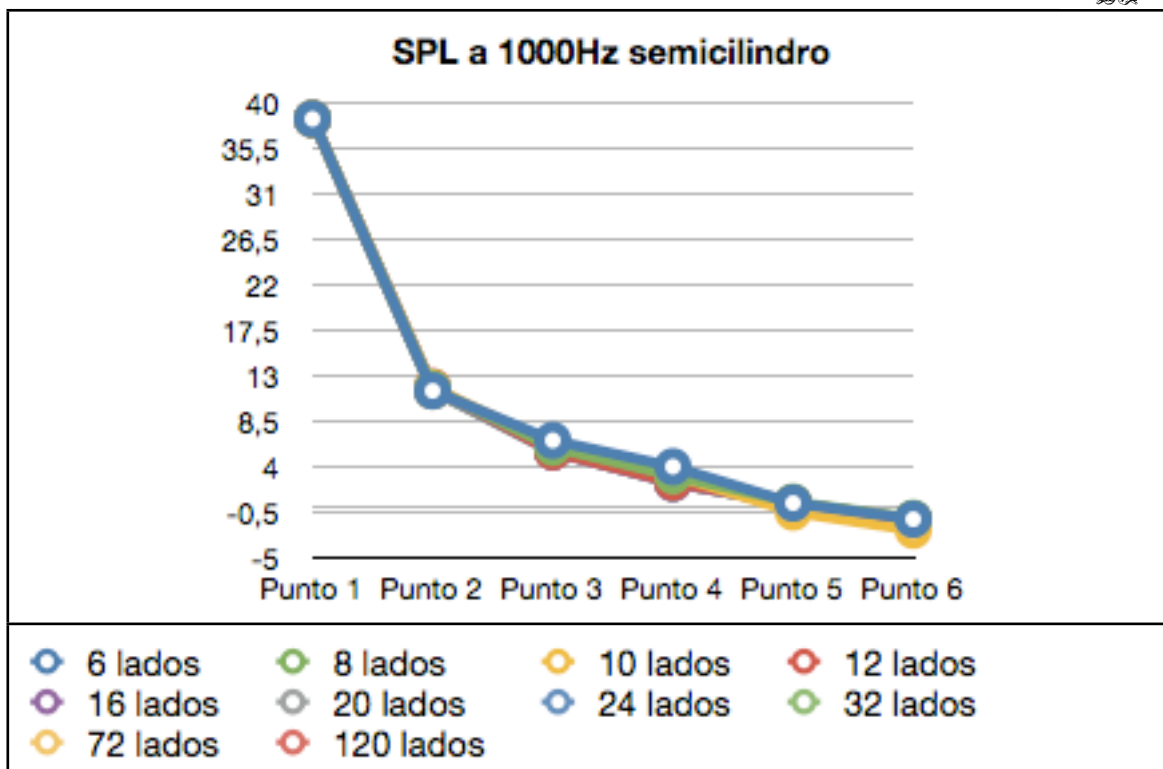


Fig.31 Resultados de SPL para cada receptor en el semicilindro y gráfica comparativa de los resultados a 1KHz en cada punto.

En conclusión:

- 1.- El Nivel de Presión Sonora simulado, difiere en más de 1 JND entre la subdivisión a 90° y la subdivisión a 3°.
- 2.- Todos los Niveles de Presión Sonora simulados siguen la misma tendencia.
- 3.- Nunca se obtiene un Nivel de Presión Sonora infinito en el punto focal.
- 4.- Los resultados son dependientes del radio en todos los casos.

A raíz de estas conclusiones, se puede observar que el número de superficies con las que se dividan las superficies curvas hace que el resultado de la simulación difiera de manera perceptible. Además no se obtuvo un Nivel de Presión Sonora infinito en el punto focal, uno de los motivos principales por los cuales se manifiesta que la acústica geométrica es irreal a la hora de tratar las superficies curvas. También se debe observar que los resultados tanto de la esfera como del cilindro depende del radio de los mismos.

5.6.- MODELADO DE LA SALA TEST

El código del editor de Odeón con el que se modeló la sala aparece en el Anexo II. El código genera una representación de la sala test. Solamente cambiando el valor de dos constantes se puede obtener cualquier subdivisión de las superficies curvas de la sala. A continuación se explicará el código paso a paso.

1º: Declaración de constantes

“

Const NumeroSuperficiesF x

Const NumeroSuperficies y

“

El primer paso será declarar las constantes NumeroSuperficiesF y NumeroSuperficies. NumeroSuperficiesF es el número de superficies en el que se dividirá el semicilindro del fondo de la sala y el cuarto de esfera que tiene encima. Este número está relacionado con los criterios de subdivisión de las superficies curvas explicados en el punto 5.2 de la siguiente manera:

Ángulo	NumeroSuperficiesF
60°	3
45°	4
36°	5
30°	6
22'5°	8
18°	10
15°	12
11,25°	16
5°	36
3°	60

Tabla 6. Relación entre el ángulo utilizado para dividir una circunferencia y el número correspondiente al parámetro NumeroSuperficiesF

NumeroSuperficiesF no es igual al número de lados de los polígonos regulares correspondientes a cada ángulo de subdivisión (ver apartado 5.2) sino que es la mitad, ya que sólo se necesita crear un semicilindro.

NumeroSuperficies es la constante necesaria para subdividir los semicilindros del techo. Ha de ser diferente a la utilizada en los del fondo, ya que la función “Dome”, con la que se modeló el cuarto de esfera del fondo, sólo permite controlar el número de superficies en una dirección de curvatura. En la otra dirección desconocemos el criterio que utiliza para seleccionar el número de superficies, pero suelen ser entre una y dos. Es necesario para cada caso conocer este número para definir las superficies del techo, ya que si los dos números no son idénticos, se obtendrían fugas en la sala ya que las superficies no encajarían entre si.

El código para declarar una constante es:

Const NombreDeLaConstante ValorDeLaConstante

A la hora de nombrar constantes, distingue entre mayúsculas y minúsculas.

2º: Definición de puntos:

“
Pt 1 0 0 0
Pt 2 5.75 0 0
Pt 3 5.75 8.13 0
Pt 4 6.63 8.13 0
.
.
.
Pt 141 1.13 15.5 0
Pt 142 1.13 15.5 4.9
Pt 143 4.62 15.5 0
Pt 144 4.78 15.5 4.9
“

Se definieron, según sus coordenadas X Y Z 144 puntos. Estos puntos son los vértices de todas las superficies de la sala. En los planos de la sala se señalaron y midieron con respecto al eje de coordenadas y se hizo una lista en la que aparecían según su relación con las superficies.



El código para definir puntos es:

Pt NúmeroDelPunto CoordenadaX CoordenadaY CoordenadaZ

3º: Definición de superficies

“

Surf 1 suelo1

49 50 63 67 68 64 51 52 53 54 55 56 66 65 62 61 60 59 58 57

Surf 2 suelo2

12 143 13 14 15 28 27 26 141 25

Surf 3 pared1

33 34 50 49

Surf 4 pared2

34 47 63 50

.

.

.

Surf 73 pared71

144 87 89

Surf 74 pared72

141 142 97 25

Surf 75 pared73

141 142 92 26

Surf 76 pared74

143 144 89 13

“

Se definieron 78 superficies planas en la sala. Ninguna superficie curva es definida de esta manera. Estas superficies comprenden suelos, paredes, puertas y columnas. Para definir una superficie es necesario conocer todos los puntos que forman sus vértices. Las superficies correspondientes a las puertas se decidió definir las al final del código ya que eran las únicas superficies con un material diferente.

El código para definir superficies es:

Surf NúmeroDeSuperficies NombreDeLaSuperficie

NúmeroDelPrimerVértice NúmeroDelSegundoVértice

NúmeroDelÚltimoVértice

4º: Cilindro del fondo

“

MTranslate 2.875 18.1 0

Cylinder 1000 NumeroSuperficiesF 2.355 180 4.9 B fondo

“

La función Cylinder crea una serie de superficies planas dispuestas en forma cilíndrica. La función crea todos los puntos y superficies necesarios para ello. Estos puntos y superficies serán almacenados en listas internas del que el programa tiene preconfiguradas para ello como Plist. PlistA almacenará los puntos de la parte de abajo y PlistB los puntos de la parte de arriba

El código de la función Cylinder es:

*Cylinder Número Superficies Radio ÁnguloRevolución Altura T/B/N
Nombre*

Número es un número que identificará el primer punto o superficie del cilindro. El motivo de elegir un número tan elevado para comenzar a nombrar los puntos y superficies es porque cuanto mayor sea el número de subdivisiones, más puntos y superficies creará, y provocaría errores que se crearán dos puntos o dos superficies con el mismo número.

Superficies es el número de superficies en la que se dividirá el cilindro.

ÁnguloRevolución se refiere al ángulo de cilindro que se creará. Si es 180° se creará medio cilindro, por ejemplo.

T/B/N indica si se debe crear una superficie en la parte de arriba (T) o abajo (B) del cilindro, o en las dos (TB) o en ninguna (N).

El centro del cilindro es el eje de coordenadas. Por ello se debe emplear la función MTransalate para mover el eje de coordenadas hasta el punto donde debiera estar el centro del cilindro.

El código de la función MTransalate es:

MTranslate CoordenadaX CoordenadaY CoordenadaZ



5º Esfera del techo del fondo

“

MTranslate 0 0 4.9

Dome 2000 NumeroSuperficiesF 2.355 180 techofondo

“

La función Dome funciona de manera similar a la función Cylinder en todos los sentidos excepto en que las superficies son creadas siguiendo una forma esférica. El centro también es el eje de coordenadas, por lo que se vuelve a utilizar la función MTranslate para moverlo. Este desplazamiento del eje de coordenadas es con respecto al último eje de coordenadas definido, en este caso, el centro del cilindro.

El código de la función Dome es:

Dome Número Superficies Radio ÁnguloRevolución Nombre

En este caso, a diferencia del caso de la función Cylinder, Superficies no se refiere al número de superficies totales en los que se dividirá la esfera sino al número de superficies en que se dividirá el eje de curvatura horizontal de la esfera. El número de superficies en las que se dividirá el eje de curvatura vertical depende tanto del radio de la esfera como del número Superficies que se introduzca y no se puede controlar directamente..

6º Resto de techos cilíndricos

“

MReset

MRotateX 90

MTranslate 2.875 18.1 4.9

Cylinder 30000 NumeroSuperficies 2.355 180 2.2 N techo1

Plist0 PListB

MReset

MRotateX 90

MRotateZ 180

MTranslate 2.955 15.1 4.9

Cylinder 40000 NumeroSuperficies 1.825 180 0.8 N techo2

PList1 PListB

Surf 77 pared75

PList0 PList1

ResetPList0

ResetPList1

Plist0 PListA

“

En esta última parte se crearán las superficies curvas del techo y las superficies planas que se encuentran entre ellas. En primer lugar, se volverá a colocar el eje de coordenadas en su posición inicial mediante la función *MReset*. *MReset* anula todos los movimientos del eje de coordenadas hasta el momento. Después se desplazará el eje hasta el centro del cilindro de techo que se quiera crear. Además, deberemos rotar el eje X, ya que la altura de estos cilindros se definirá en este eje al estar “tumbados”. Para ello utilizaremos la función *MRotateX*. Las funciones *MRotateY* y *MRotateZ* rotarán los otros dos ejes de coordenadas.

El código de la función *MRotateX* es:

MRotateX ÁnguloDeRotación

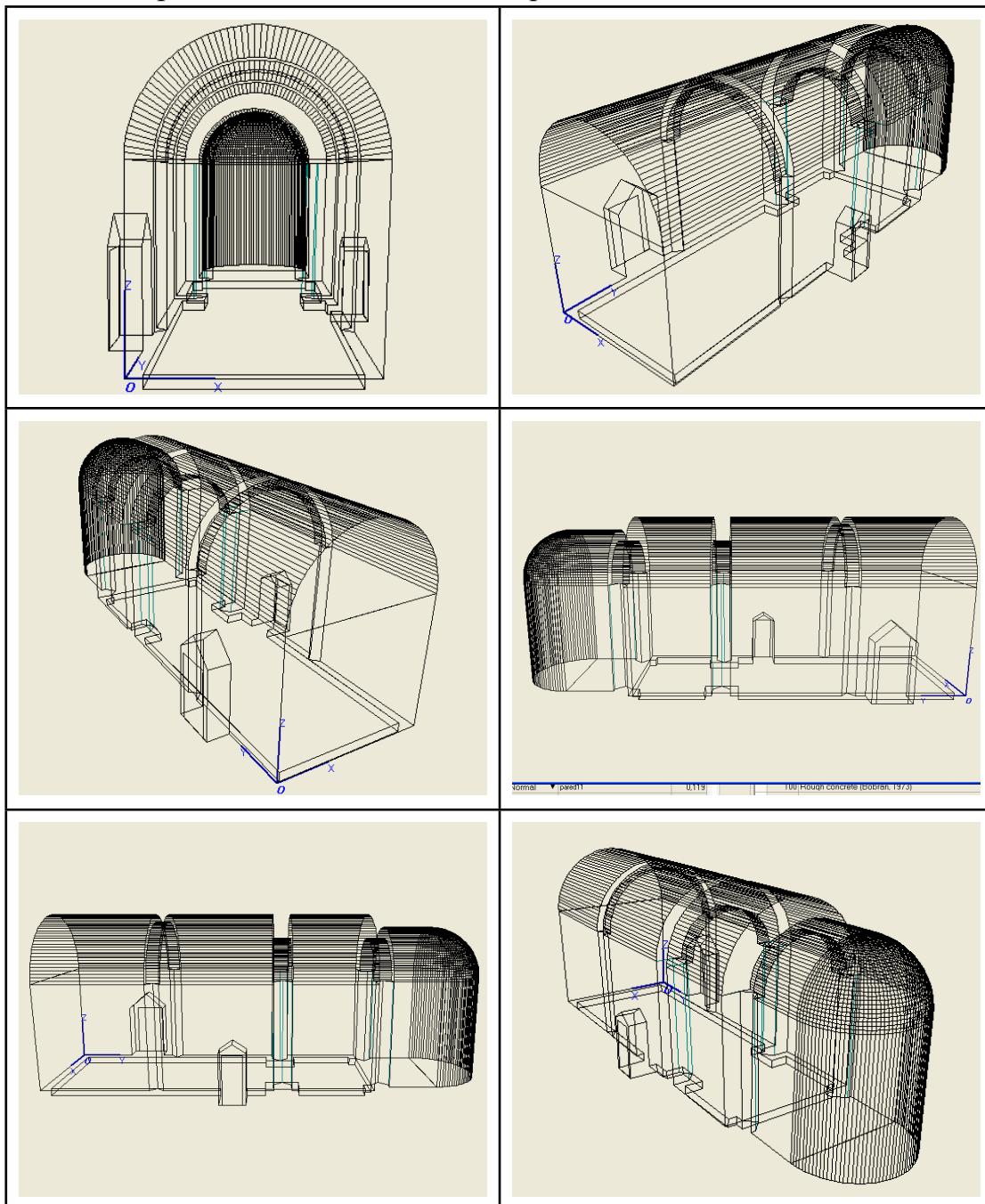
A continuación se creará un cilindro con la función *Cylinder* y se almacenarán la mitad de sus puntos en la lista *Plist0*. Se repiten todos estos pasos para crear otro cilindro y se almacena la mitad de sus puntos en otra lista llamada *Plist1*. Estas dos listas contendrán los puntos de las superficies planas del techo, que serán creadas a continuación mediante la función *Surf*.

Se resetearán las listas Plist0 y Plist1 para que puedan volver a almacenar los puntos de otros cilindros mediante las funciones ResetPlist0 y ResetPlist1 respectivamente. Almacenaremos la mitad de los puntos no utilizados de uno de los cilindros en Plist0 para crear la siguiente superficie.

En la última superficie cilíndrica del techo, crearemos la superficie correspondiente a la pared directamente mediante la sintaxis de la función:

Cylinder 90000 NumeroSuperficies 2.955 180 4.93 T techo7

La representación de la sala test quedó:



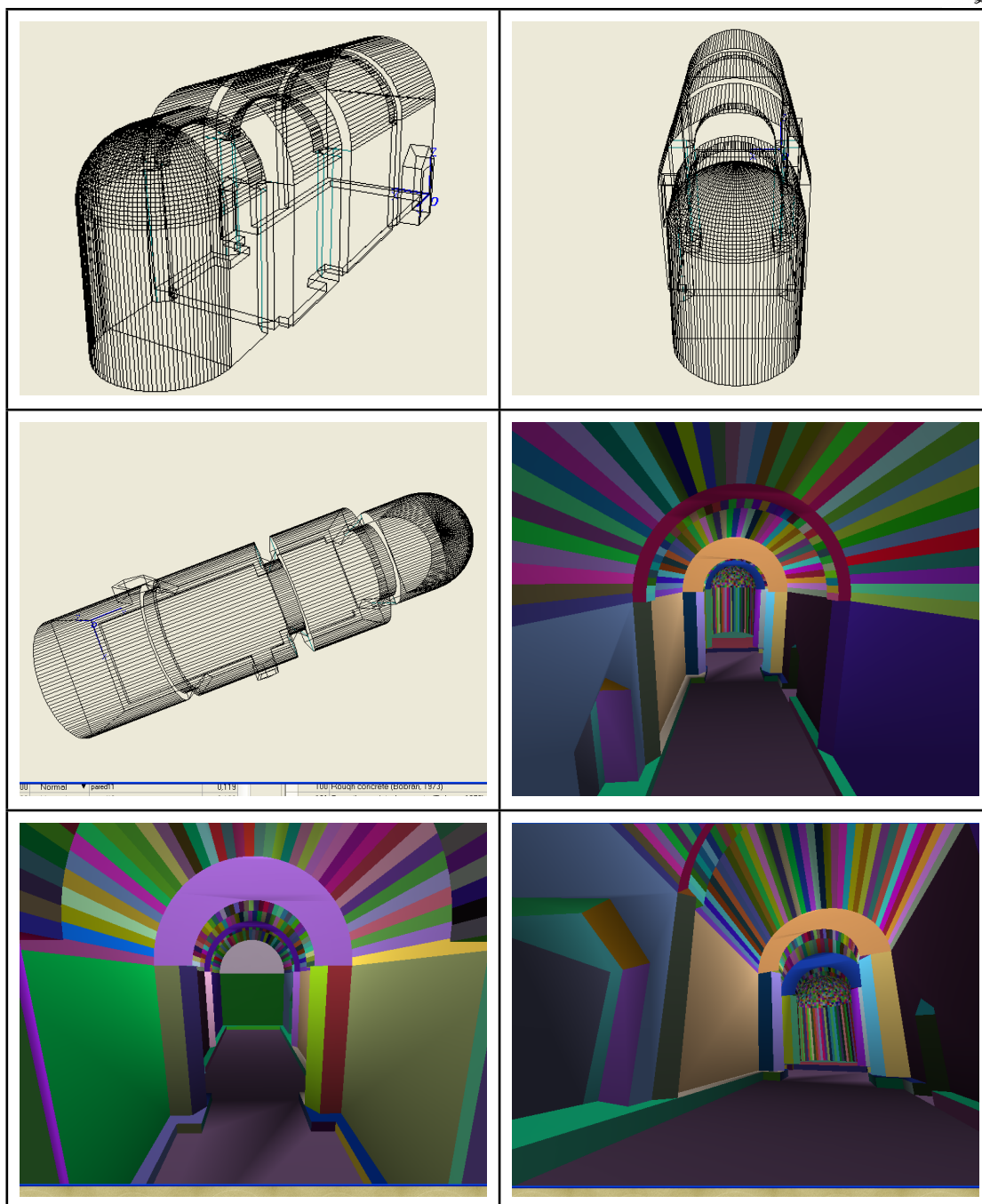


Fig.32 Modelado de la sala test.

5.7.- SIMULACIÓN SALA TEST

Tras modelar la sala, el siguiente paso es simularla. Se simulará para las subdivisiones de superficies curvas entre 60° y 3°.

Se asignó un coeficiente de “scattering” a las superficies por lo que todas las simulaciones se realizaran con y sin el atributo de “fractional” en los materiales. Se asignó el mismo tipo de material a todas las superficies excepto a las puertas de madera, ya que toda la sala estaba realizada de piedra de sillería, o piedra de sillería lavada en cal. El coeficiente de absorción en función de la frecuencia es el siguiente:

63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz
0,02460	0,02400	0,02470	0,03200	0,03600	0,04050	0,3800	0,02200

Tabla 7. Coeficiente de absorción superficies sala test.

Se validó este coeficiente de absorción de los materiales utilizando una división de las curvas en 11,25° (dentro de la recomendación que da Odeón) equiparando el T20 simulado al T20 medido en la sala. La siguiente tabla muestra los valores en JND de diferencia entre el promedio de los valores de T20 medidos en cada posición de micrófono y el promedio de los valores de T20 simulados para cada posición de micrófono en el momento que se validó.

Los resultados no difieren más de 1 JND para todas las bandas, exceptuando la de 8KHz y 125Hz.

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
JND	-0,44531	-1,15353	-0,92406	0,32626	0,57251	0,91383	0,98846	1,85413

Tabla 8. JND entre el promedio de los valores de T20 medidos y simulados.

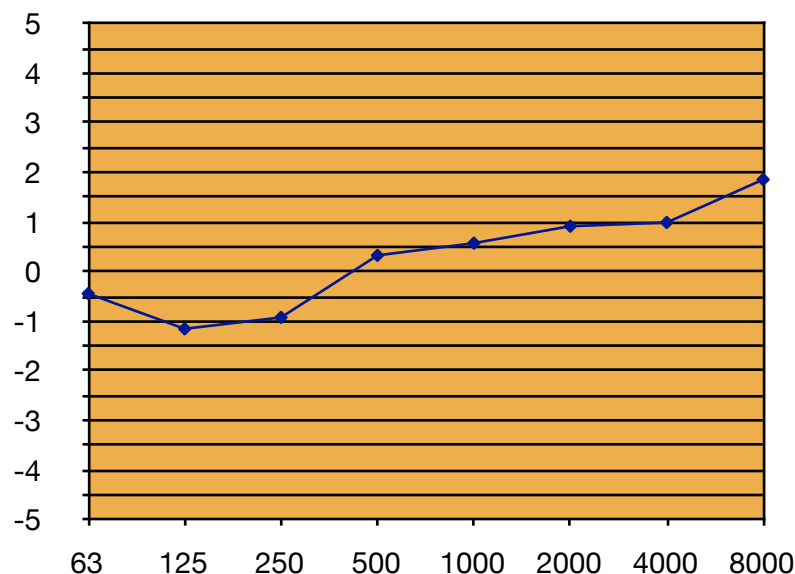


Fig.33 Gráfica que muestra los valores en JND entre el promedio de los valores de T20 medidos y simulados.

La fuente y los receptores colocados en la sala real, fueron colocados en las mismas posiciones en la sala simulada. Se utilizaron 16 posiciones de micrófono, que nos servirán para comparar el comportamiento de las simulaciones.

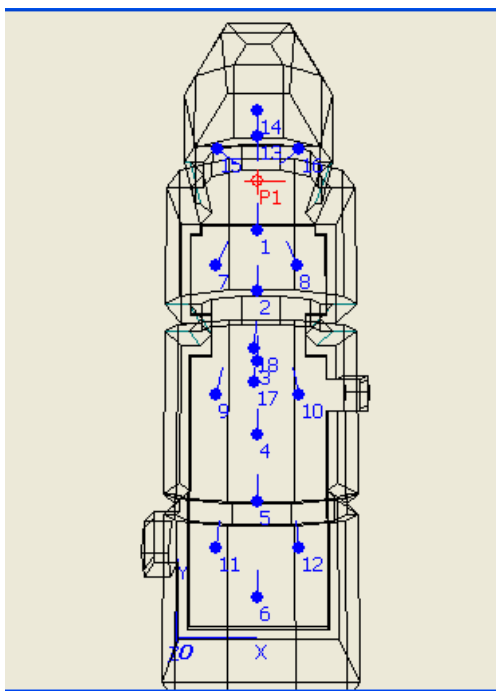


Fig.34 Posiciones de receptores en la sala test.

Se recogió la información de una malla de receptores cada 0,2m situada a 1,2m del suelo de la sala. Esta información se utilizará en el capítulo 5.9.

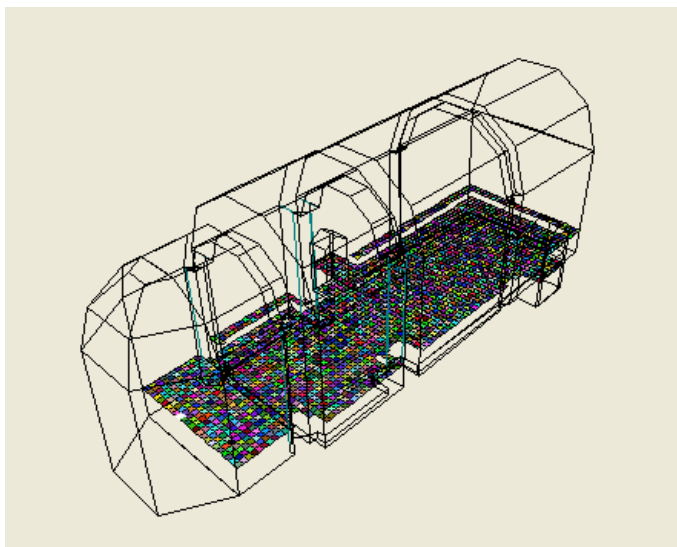


Fig.35 Malla de receptores en la sala test.

ANÁLISIS DEL T20:

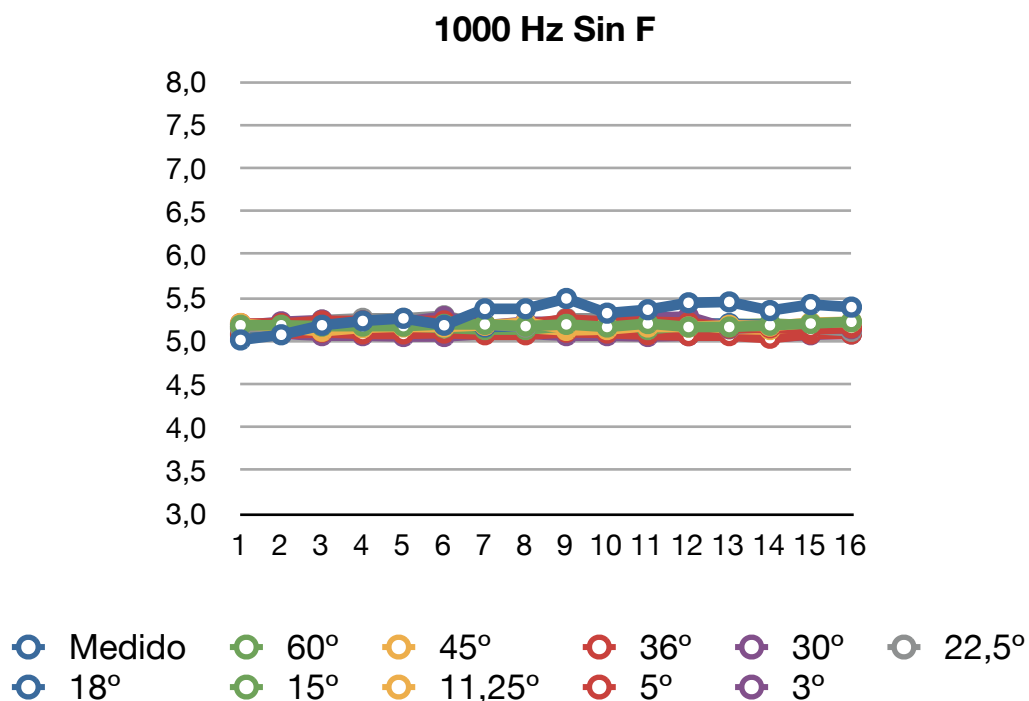


Fig.36 T20 para cada subdivisión de superficies curvas por posición de receptor. El eje vertical son segundos (s). Atributo "fractional" no asignado.

En esta gráfica aparecen, para cada subdivisión angular de las superficies curvas de la sala, el T20 a 1000Hz en cada uno de los puntos de medida. En este caso, no se ha asignado el atributo “fractional” a las superficies curvas. Se observa que todos los resultados difieren menos de 1JND ($1\text{JND}=0,05 \cdot T_{20}$). Se puede observar que en los puntos que caen en el eje focal (1, 2) y a una distancia parecida al radio de la superficie curva, al subdividir a 5° y 3° se obtiene un resultado más cercano al medido.

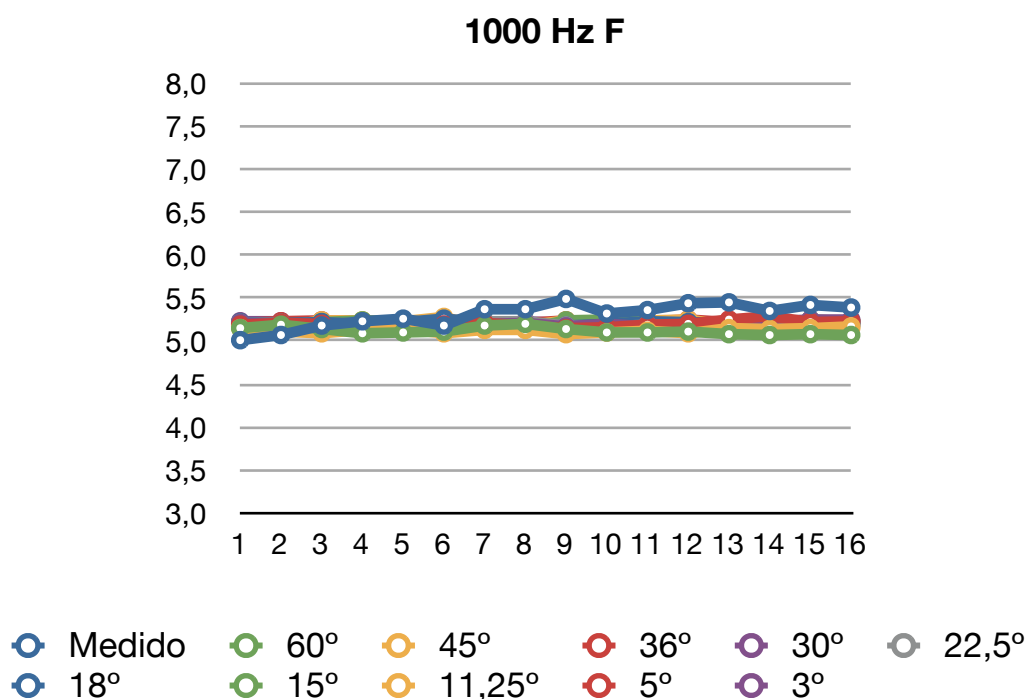


Fig.37 T20 para cada subdivisión de superficies curvas por posición de receptor. El eje vertical son segundos (s). Atributo “fractional” asignado.

En esta gráfica aparecen, para cada subdivisión angular de las superficies curvas de la sala, el T20 a 1000Hz en cada uno de los puntos de medida. En este caso, si se ha asignado el atributo “fractional” a las superficies curvas. Se observa que todos los resultados difieren menos de 1JND. A diferencia de la gráfica anterior, no se aprecia un acercamiento a los resultados medidos al aumentar las subdivisiones de las superficies curvas.

El resultado permite comprobar que para simular el tiempo de reverberación de una sala no es importante el número de superficies en el que se dividan las superficies curvas si la sala es muy reverberante.

ANÁLISIS DEL SPL:

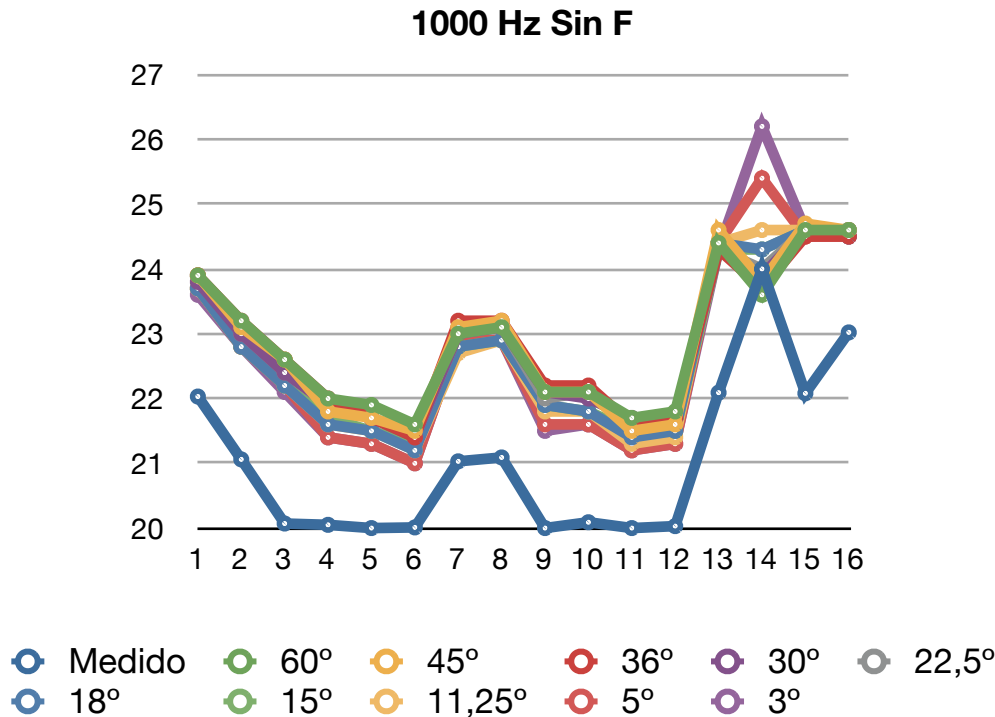


Fig.38 SPL para cada subdivisión de superficies curvas por posición de receptor. El eje vertical son decibelios (dB). Atributo “fractional no asignado.

En esta gráfica aparecen, para cada subdivisión angular de las superficies curvas de la sala, el SPL a 1000Hz en cada uno de los puntos de medida. Como la potencia de la fuente fue de 31dB, el SPL representado correspondería con el parámetro G. En este caso, no se ha asignado el atributo “fractional” a las superficies curvas. Se observa que todos los resultados difieren entre 1 y 2 JND (1JND=1dB) del dato medido, excepto para el punto 14, el más cercano a la superficie curva, en la que las mayores subdivisiones exageran el SPL. El valor del SPL simulado para todas las subdivisiones no difiere más de 1JND.

La tendencia en todos los puntos es la misma que la medida, pero hay un exceso de SPL en la simulación. Esto no es un problema real, sino que ajustando la ganancia de la fuente en Odeón, obtendríamos unos valores cercanos a los medidos.

El resultado asignando el atributo “fractional” a las superficies curvas es prácticamente idéntico a este.

Tampoco se observan diferencias apreciables entre utilizar más o menos subdivisiones de las superficies curvas. El resultado utilizando las subdivisiones que recomienda Odeón (10° - 30°) y la subdivisión de 60° es menor de 1 JND.

En conclusión:

1.- El T20 medido y simulado no difiere en más de 1 JND en todas las divisiones de las superficies curvas, aunque no siguen la misma tendencia.

2.- El T20 simulado aplicando “fractional” y sin aplicar “fractional” no difiere en más de 1 JND.

3.- El SPL medido y simulado difiere en más de 1 JND en todas las divisiones de las superficies curvas, excepto en la posición 14 de micrófono, en el que el SPL medido y simulado es idéntico para todas las divisiones de las superficies curvas excepto para la de 5° y 3° .

4.- El SPL medido y simulado sigue la misma tendencia.

A raíz de estas conclusiones, se puede afirmar que se ha realizado una simulación satisfactoria de la sala, pero en la que no hemos podido encontrar indicios de la focalización esperada. Es posible que esto sea debido al tiempo de reverberación tan alto que aparece en la sala.

Para intentar encontrar que parte del SPL corresponde a las superficies curvas, y cuál al resto de superficies, se deberán analizar las primeras reflexiones en las superficies curvas. Para ello, se han realizado simulaciones en las que las únicas superficies reflectantes sean las curvas. Con estas simulaciones, el sonido directo, y las simulaciones de la sala completa se intentará analizar que parte del SPL puede corresponder a las focalizaciones. Para ello se utilizará un programa para comparar mallas de Odeón.



5.8.- COMPARADOR ACÚSTICO

El Comparador Acústico es un programa realizado en Matlab que permite comparar el resultado obtenido en las simulaciones de Odeón. El programa muestra tres mallas. La primera y la segunda tienen el mismo funcionamiento. Desde un archivo de texto en el que se hayan guardado los resultados de una simulación de Odeón, muestran las mallas de resultado de cualquier parámetro para la frecuencia que deseemos. La tercera muestra la diferencia del parámetro elegido entre la primera y la segunda, expresado en JNDs.

Esto nos será sumamente útil, ya que se puede comparar como varía un parámetros con respecto a la frecuencia o al número de subdivisiones de la superficie curva.

Esta herramienta además nos permitirá analizar la aportación de las primeras reflexiones provenientes de la superficie curva. Esto será necesario debido a que la sala test tiene un tiempo de reverberación alto, por lo que la simulación normal del SPL en la sala no ofrecerá unos resultados en los que el incremento de SPL debido a la focalización pueda ser apreciable.

5.9.- COMPARACIÓN DE MALLAS

Para conseguir observar la aportación de nivel de presión sonora de las primeras reflexiones, se comparará una simulación del sonido directo de la fuente en la sala (haciendo que todas las superficies sean 100% absorbentes) y una simulación en la que las únicas superficies reflectantes sean las superficies curvas. Al comparar estas dos simulaciones en la tercera malla del programa, se observará la aportación de la superficie curva expresada en JNDs.

Las mallas que se compararon fueron las de SPL a 125Hz, 1000Hz y 4000Hz, para divisiones de entre 45° y 3°.

Se debería observar una gran amplificación en el eje central ($x=2,75m$) de la sala test, reduciéndose a medida que se aleje del foco ($x=2,75m$, $y=16,0m$). Según la teoría de la acústica ondulatoria, deberíamos encontrar arcos de amplificación, seguidos de arcos de ausencia de amplificación debidos a interferencias.

SPL 125Hz

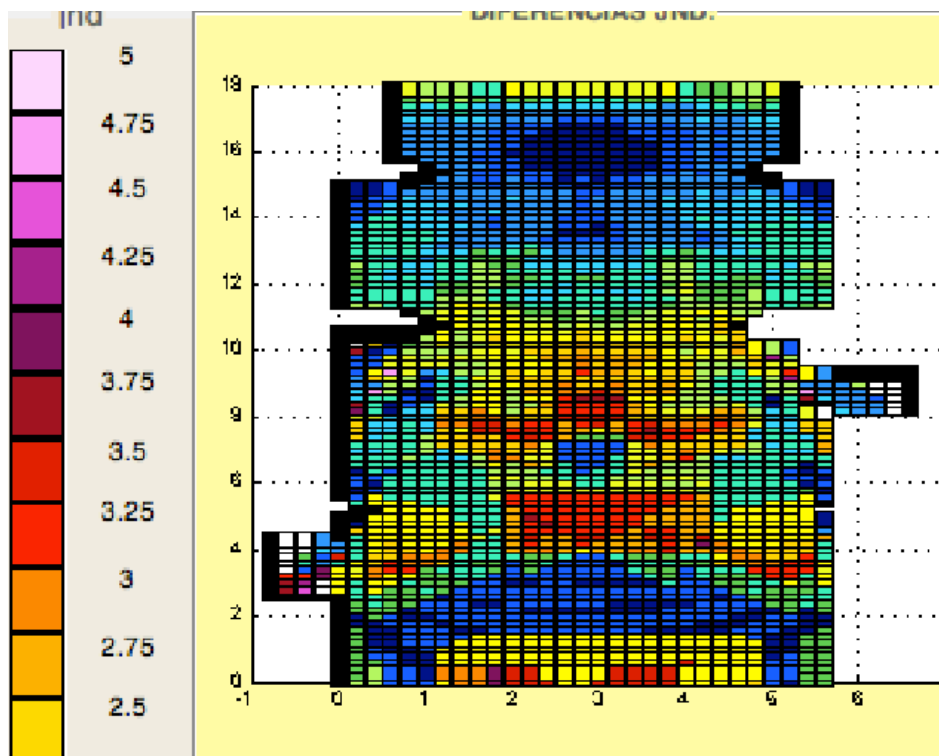


Fig.39 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 45° en JND.

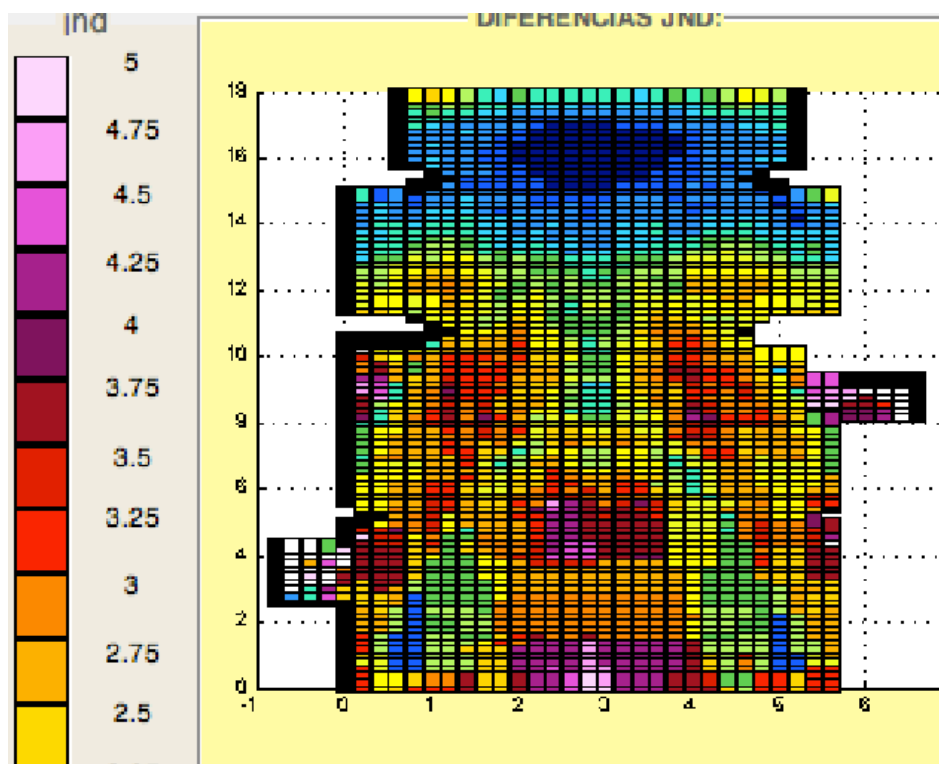


Fig.40 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 22,5° en JND.

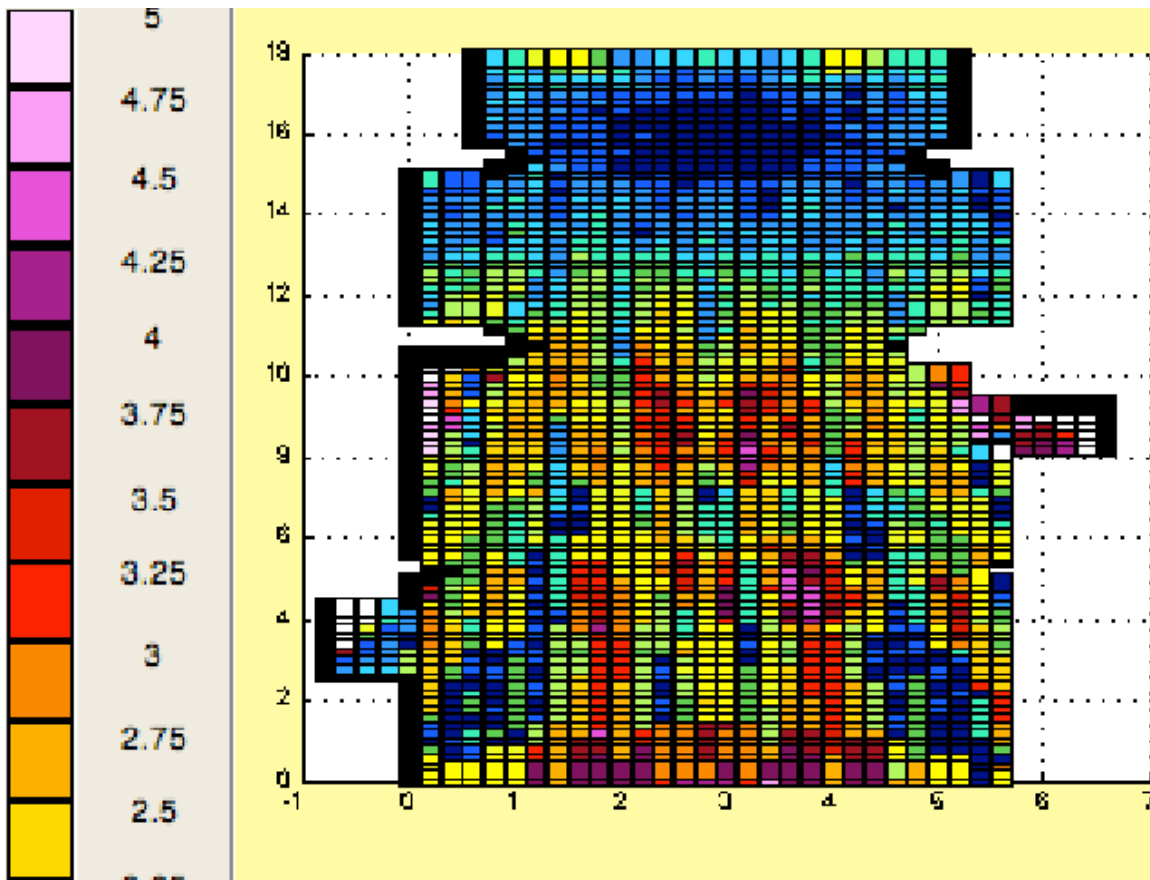


Fig.41 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 5° en JND.

Para el caso del SPL a 125Hz los resultados no mantienen una correlación clara entre el número de subdivisiones y el resultado. Aún así, se puede observar que hay cierto acercamiento al resultado esperado para la teoría de la acústica geométrica para el ángulo de divisiones mayor, observando arcos de amplificación seguidos de arcos de ausencia de amplificación.

Al aumentar el número de división de las superficies curvas se mantiene ese resultado, combinando zonas de amplificación con zonas de ausencia de amplificación, pero también se puede observar cierta concentración de la amplificación, primero en tres zonas fácilmente diferenciadas, y a medida que se aumenta la división, llega a aparecer una sola focalización central, ensanchándose con la distancia.

SPL 1000Hz

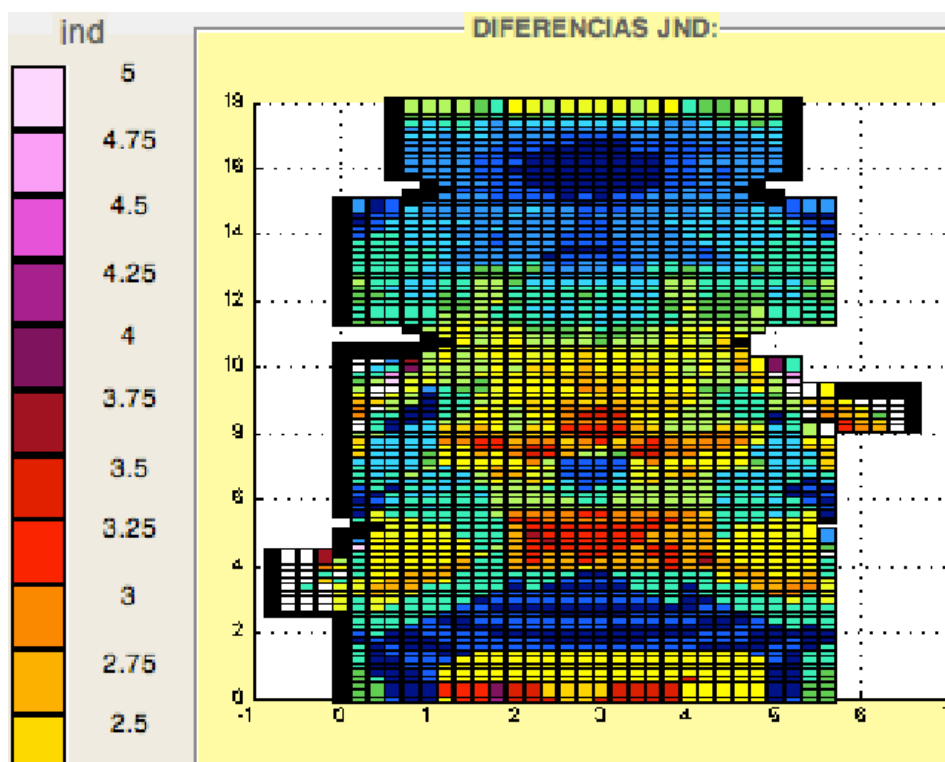


Fig.42 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 45° en JND.

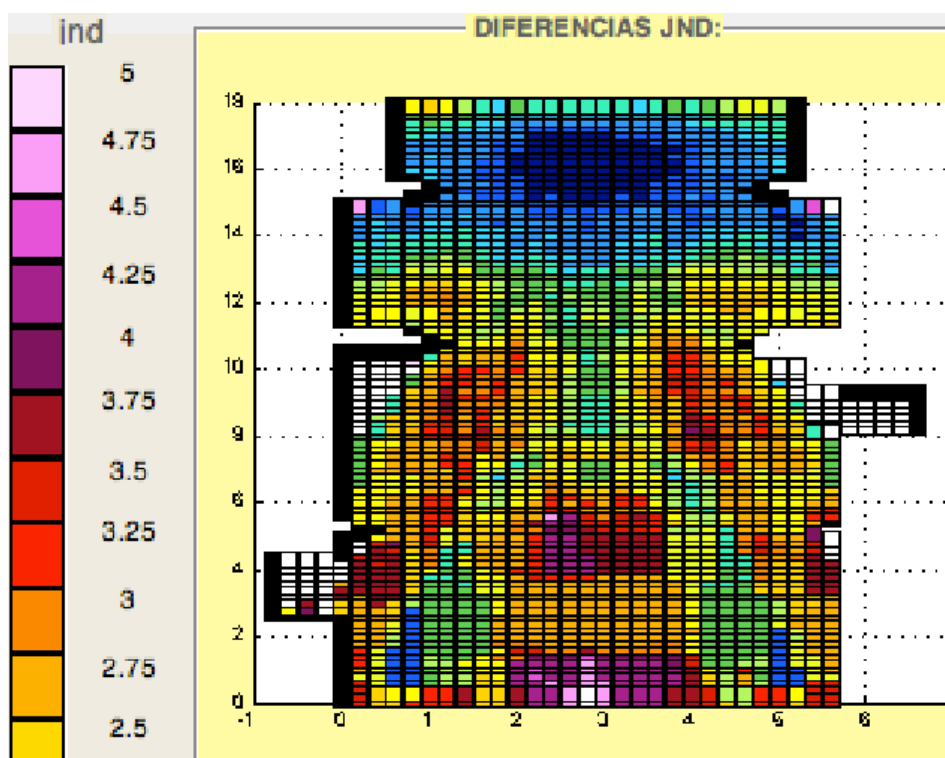


Fig.43 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 22,5° en JND.

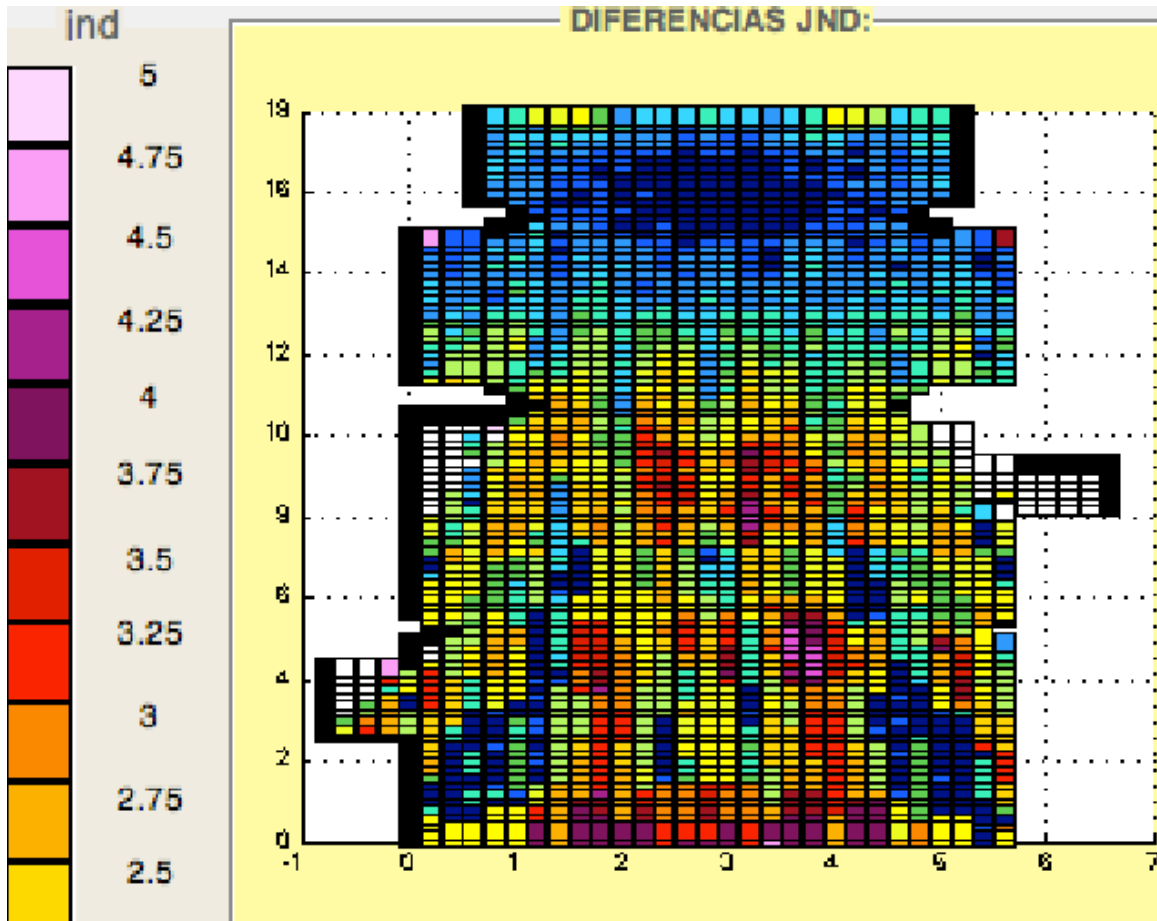


Fig.44 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 5° en JND.

Se puede observar que el resultado a 1000Hz es muy similar al de 125Hz. Esto confirma la teoría que dice que en la acústica geométrica, la focalización es independiente de la frecuencia (excepto que la absorción si que varía con la frecuencia). Aunque en la teoría ondulatoria, la focalización aumenta a altas frecuencias.

SPL 4000Hz

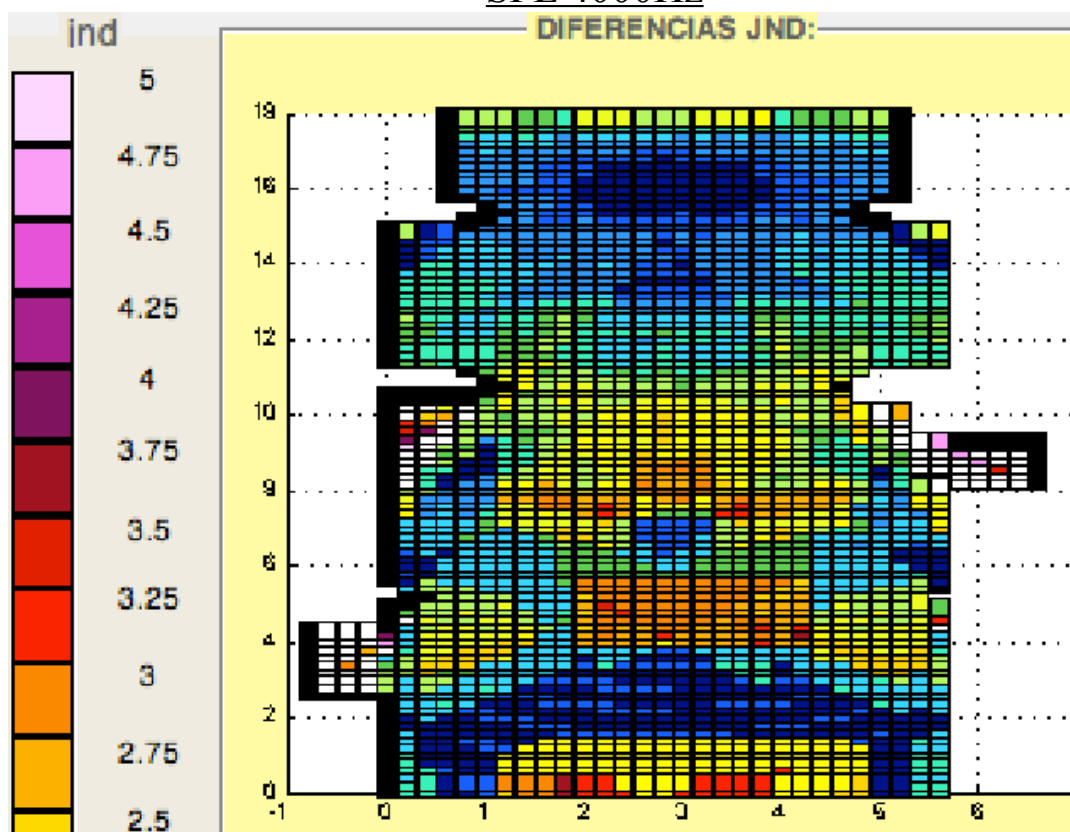


Fig.45 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 45° en JND.

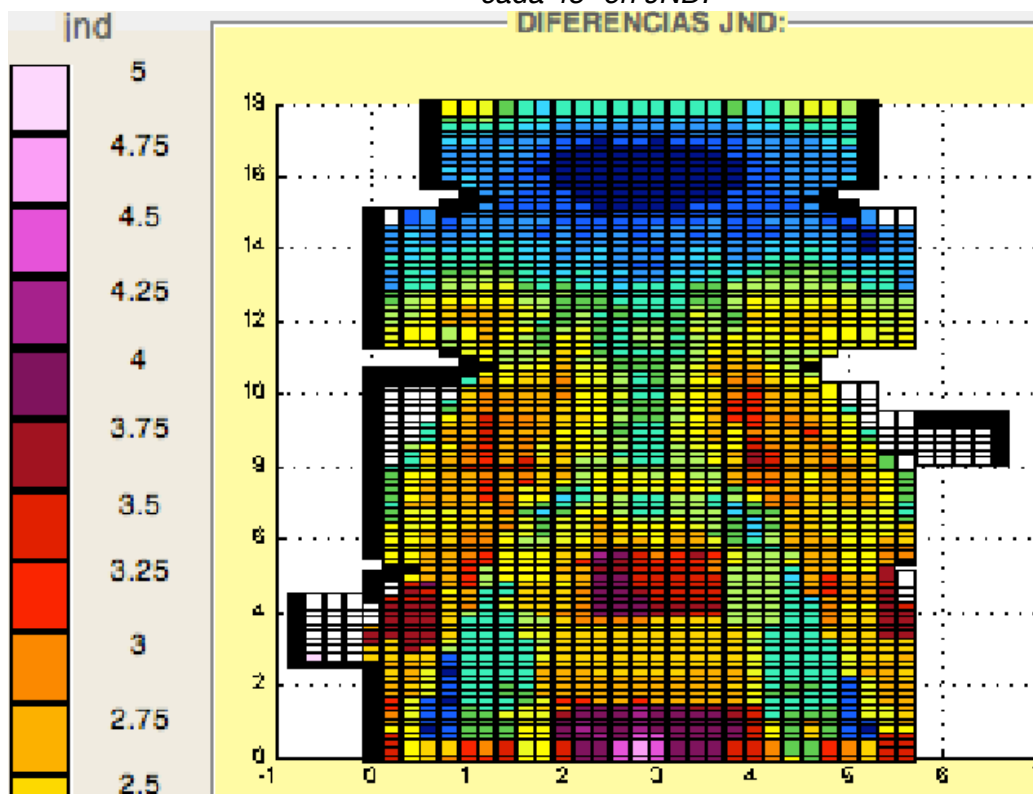


Fig.46 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 22,5° en JND.

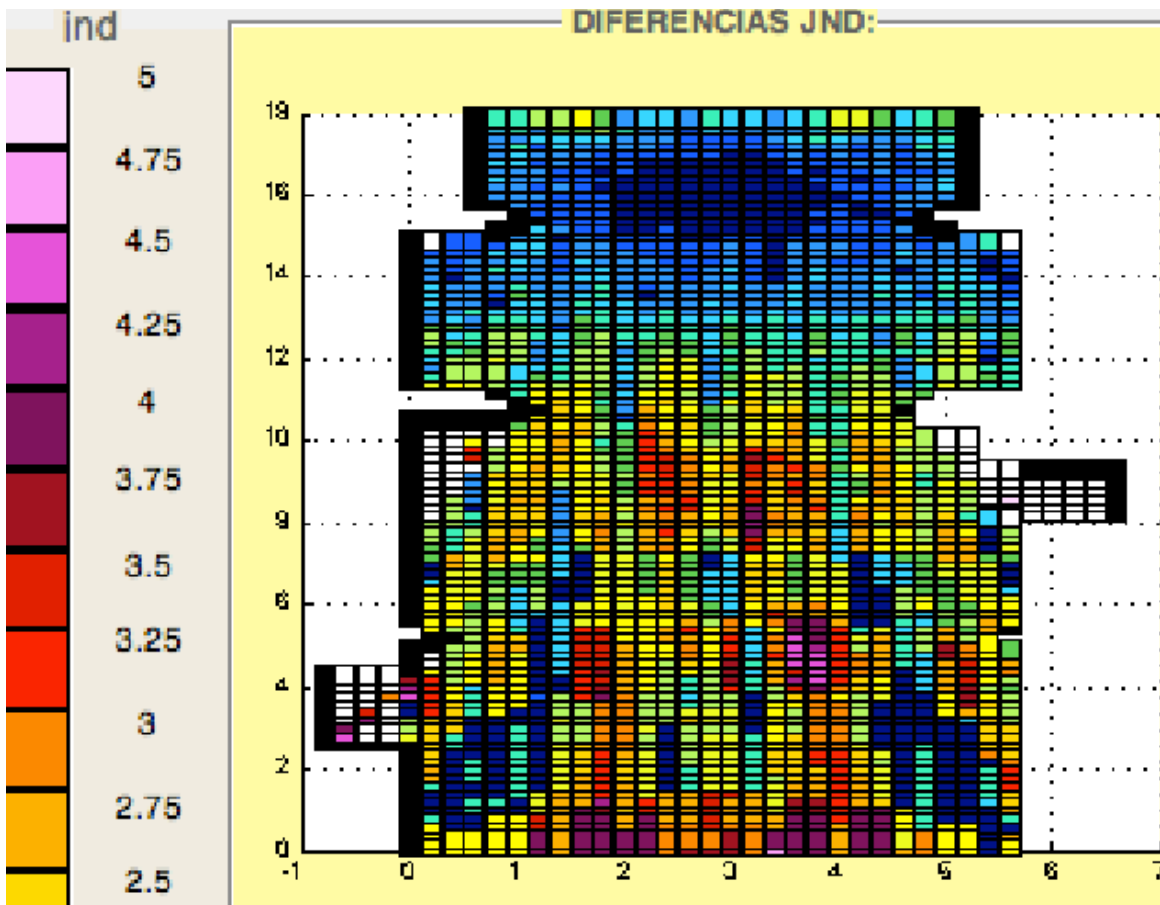


Fig.47 SPL Reflexión Sup. Curvas menos SPL Sonido Directo con superficies en la curva cada 5° en JND.

Se comprueba que a 4000Hz tampoco se observan grandes diferencias. El patrón es similar a las comparaciones de 125Hz y 1000Hz. Las diferencias pueden ser producidas del mayor coeficiente de absorción de las superficies para esta frecuencia.

En conclusión:

1.- Se comprueba que la focalización no depende de la frecuencia (en la acústica geométrica) en las simulaciones realizadas por Odeon. Esto es una debilidad por parte del programa de simulación.

2.- Se comprueban los cálculos teóricos de Vercammen, en cuanto a que aparecen arcos de amplificación seguidos de arcos de ausencia de amplificación.

3.- Al utilizar un ángulo inferior para dividir las superficies curvas, la amplificación va aproximándose al eje focal.



4.- La diferencia en JND entre la reflexión en las superficies curvas y el sonido directo se observan diferencias en ocasiones superiores a los 3 JND. Esta diferencia es bastante elevada y se podría concluir que es debida a la focalización.

Aunque no se haya podido observar la focalización al simular la sala completa, al analizar la aportación de las superficies curvas si que se observa cierto grado de amplificación en la zona focal mediante este método. En este caso, cuantas más subdivisiones de las superficies curvas mejor es el resultado obtenido. Si el objetivo del estudio es el tiempo de reverberación, o la focalización no se presenta, podemos subdividir en pocas superficies, pues el resultado no variará de forma apreciable, al menos para salas muy reverberantes.

6. CONCLUSIONES

1.- Se consigue una mejor simulación de la focalización al aumentar el número de superficies en las que se subdividen las superficies curvas.

2.- La focalización no depende de la frecuencia para la teoría de la acústica geométrica ni tampoco para las simulaciones realizadas con Odeon. Esto es una debilidad a la hora de realizar simulaciones de la focalización con este programa.

3.- Para percibir la focalización en una sala muy reverberante, se deben analizar las primeras reflexiones.

4.- Se han obtenido resultados similares a los obtenidos por Vercammen y sus aproximaciones a la resolución de la integral de Kirchhoff.

5.- Fuera de la zona focal, o cuando la focalización no se presente en la sala, no es necesario representar las superficies curvas con la subdivisión recomendada en el manual de Odeón. Los resultados indican que con menos subdivisiones se obtiene la misma precisión.

6.- Al utilizar las funciones del editor de Odeón para generar las superficies curvas, se pueden subdividir estas en un gran número de superficies planas sin peligro de que aparezcan fugas.

7.- No se han observados diferencias apreciables por el hecho de asignar el tipo de material “fractional” a las subdivisiones de las superficies curvas.

8.- Al simular esferas y cilindros, el resultado depende en todo caso del radio de los mismos. Esto contradice las conclusiones realizadas por Vercammen basadas en el comportamiento de esferas según la acústica ondulatoria [Vercammen 12] p.179.

9.- En el punto focal nunca se obtiene un Nivel de Presión Sonora infinito.

10.- El programa “Comparador Acústico” es una herramienta muy potente a la hora de obtener las primeras reflexiones.



11.- En las medidas realizadas en San Pedro de Etxano, se obtuvo un tiempo de reverberación muy elevado, lo que haría complicada la comprensión del mensaje hablado. La claridad musical en la zona más cercana al altar y en la zona del altar era buena, pero al alejarse empeoraba drásticamente. La sonoridad en la sala es muy elevada.



7. PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES

1.- Analizar una sala test con superficies curvas importantes pero con un tiempo de reverberación bajo.

2.- Analizar la simulación de salas con superficies curvas para posiciones de micrófono cercanas a estas superficies y cómo varía el resultado en función de la subdivisión de las superficies curvas.

3.- Realizar una auralización de la sala test con diferente número de subdivisiones de las superficies curvas y comprobar como varía la percepción del sonido en la misma.

4.- Realizar un recorrido sonoro virtual para la ermita San Pedro de Etxano.

5.- Realizar mediciones de parámetros relacionados con la calidad de la comprensión de la palabra en la ermita San Pedro de Etxano con condiciones de la sala ocupada.

6.- Realizar grabaciones de diferentes estilos musicales e instrumentos con varios micrófonos repartidos por distintos sectores de la sala. Para ciertos estilos e instrumentación, como puede ser la música barroca, antigua o medieval, el gran aumento de la sonoridad puede ser beneficioso.

8. BIBLIOGRAFÍA

San Martín R., Arregui A., Machín J., Arana M. Validación de modelos simulados de recintos. Análisis espacial. 44º congreso español de acústica, encuentro ibérico de acústica, EAA european symposium on environmental acoustics and noise mapping (2013) [San Martín 13]

Christensen, C. L., Koutsouris, G., Rindel, J. H., The ISO 3382 parameters. Can we measure them? Can we simulate them? Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics (ISRA), Toronto, Canada, (2013). [Christensen 13a]

Christensen, C. L., Koutsouris, G., ODEON Room Acoustic Software Version 12 User Manual, 2ª edition. Basics, Industrial, Auditorium and Combined Edition (2013) [Christensen 13b]

Vorländer, M., Computer simulations in room acoustics: Concepts and uncertainties, (2013) [Vorländer 13]

Vercammen, M., Sound Concentration Caused By Curved Surfaces, PhD thesis, Eindhoven University of Technology (2012) [Vercammen 12]

Vorländer, M., Models and algorithms for computer simulation in room acoustic. International Seminar on Virtual Acoustic (2011) [Vorländer 11]

Green, E., Barron, M., Thompson, D., The effect of scattering surfaces in rectangular concert halls: A scale model analysis, proc. of the Institute of Acoustics (2011) [Green 11]

Chandak, A., Antani, L., Taylor, M., Manocha, D., Fast and Accurate Geometric Sound Propagation using Visibility Computations, proc. of the International Symposium on Room Acoustics (2010) [Chandak 10]

International Standard Organization (2009). ISO 3382-1:2009(E) Acoustics-Measurement of room acoustic parameters. Part1: Performance spaces. [ISO 3382-1:2009]

Schröder, D., Pohl, A., Real-time hybrid simulation method including edge diffraction, proc. of the EAA Symposium on Auralization, Espoo, Finlandia (2009) [Schröder 09]



Behler, G. K., Uncertainties of measured parameters in room acoustics caused by the directivity of source and/or receiver. Institute of Technical Acoustics, Aachen University (2008) [Behler 08]

Stephenson, U. M., Svensson, U.P.; An Improved Energetic Approach To Diffraction Based On The Uncertainty Principle, XIX International Congress On Acoustics, Madrid (2007) [Stephenson 07]

Shiokawa, H., Rindel, J. H., Comparisons between Computer Simulations of Room Acoustical Parameters and Rhose Measured in Concert Halls (2007) [Shiokawa 07]

Rindel, J. H., The use of computer modeling in room acoustic. Journal of Vibroengineering (2000) [Rindel 00]

Rindel, J. H., Computer simulation techniques for the acoustical design of rooms. ASVA 97 (1997) [Rindel 97]

Kuttruff, H. Some remarks on the simulation of sound reflection from curved walls. Acta Acustica Vol.77 (1992) [Kuttruff 92]

Recuero López, M. Ingeniería Acústica. 1a Ed., Izquierdo S.A. Madrid (1991) [Recuero 91]

Kulowski, A. Algorithm representation of ray tracing techniques. (1984) [Kulowski 84]

Krokstad, A., Strom, S., Sorsdal, S. Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique. (1967) [Krokstad 67]

9. ANEXO I: Tablas de datos

9.1.- Esfera 5,4m de diámetro:

Punto 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,4	38,4
6 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,4
8 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,4
10 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,4
12 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5
16 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5
20 lados	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6
24 lados	38,6	38,6	38,6	38,6	38,7	38,7	38,7	38,6
32 lados	38,8	38,8	38,8	38,8	38,8	38,8	38,8	38,7
72 lados	39,9	39,9	39,9	39,9	40,1	40,2	40,2	39,9
120 lados	41,6	41,6	41,6	41,6	41,9	42,1	42	41,5

Punto 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	23,1	23,1	23,1	23	23	22,9	22,4	21,4
6 lados	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,8	22,4	21,4
8 lados	23	23	23	22,9	23	23	22,6	21,6
10 lados	23,6	23,6	23,6	23,6	23,7	23,7	23,4	22,5
12 lados	24,3	24,3	24,3	24,2	24,4	24,5	24,2	23,2
16 lados	24,6	24,7	24,6	24,6	24,8	24,9	24,6	23,7
20 lados	25,8	25,8	25,8	25,8	26	26,2	26	25,1
24 lados	25,8	25,9	25,9	25,9	26,1	26,3	26,1	25,2
32 lados	26,3	26,3	26,3	26,3	26,6	26,8	26,6	25,7
72 lados	26,5	26,5	26,5	26,5	26,7	26,9	26,6	25,6
120 lados	26,5	26,5	26,5	26,5	26,7	26,9	26,6	25,6

Punto 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	21,8	21,8	21,7	21,7	21,6	21,4	20,7	19
6 lados	21,4	21,4	21,4	21,3	21,3	21,2	20,6	19
8 lados	21,5	21,5	21,5	21,4	21,5	21,4	20,8	19,3
10 lados	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,4	20
12 lados	22,2	22,2	22,2	22,2	22,3	22,3	21,8	20,5
16 lados	22,3	22,3	22,3	22,2	22,3	22,4	21,9	20,5
20 lados	22,2	22,2	22,2	22,2	22,3	22,3	21,7	20,3
24 lados	21,9	21,9	21,9	21,9	22	22	21,4	20
32 lados	21,9	21,9	21,8	21,8	21,9	21,9	21,3	19,8
72 lados	22,2	22,2	22,2	22,2	22,3	22,2	21,7	20,2
120 lados	22,3	22,3	22,2	22,2	22,3	22,2	21,6	20

Punto 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	21,8	21,7	21,7	21,6	21,5	21,3	20,5	18,5
6 lados	21	21	21	20,9	20,9	20,7	19,9	17,9
8 lados	20,8	20,8	20,7	20,7	20,6	20,4	19,6	17,6
10 lados	20,9	20,9	20,8	20,8	20,8	20,6	19,9	18
12 lados	20,6	20,6	20,5	20,5	20,4	20,3	19,4	17,4
16 lados	20,2	20,2	20,2	20,1	20,1	19,9	19	16,9
20 lados	20,2	20,2	20,2	20,1	20,1	19,9	19	17
24 lados	20,1	20,1	20	19,9	19,9	19,7	18,8	16,7
32 lados	19,9	19,9	19,9	19,8	19,7	19,5	18,5	16,3
72 lados	20,4	20,4	20,4	20,3	20,3	20,1	19,2	17,1
120 lados	20,7	20,7	20,6	20,5	20,5	20,3	19,3	17,2

Punto 5	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	22	22	22	21,9	21,8	21,5	20,6	18,3
6 lados	21,1	21	21	20,9	20,8	20,5	19,6	17,2
8 lados	20,8	20,8	20,7	20,6	20,5	20,2	19,2	16,8
10 lados	20,5	20,4	20,4	20,3	20,2	19,9	18,9	16,3
12 lados	20,3	20,3	20,2	20,1	20	19,7	18,7	16,1
16 lados	19,9	19,9	19,8	19,7	19,6	19,3	18,2	15,5
20 lados	20	20	19,9	19,8	19,7	19,4	18,3	15,8
24 lados	19,9	19,9	19,9	19,8	19,7	19,4	18,3	15,7
32 lados	19,9	19,9	19,8	19,7	19,6	19,3	18,2	15,7
72 lados	20,1	20,1	20	19,9	19,8	19,5	18,4	15,9
120 lados	20	20	19,9	19,8	19,7	19,4	18,1	15,2

Punto 6	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	23,3	23,3	23,2	23,2	23	22,7	21,8	19,4
6 lados	21,9	21,9	21,8	21,7	21,6	21,2	20,1	17,2
8 lados	21,6	21,6	21,5	21,4	21,3	20,9	19,7	16,8
10 lados	21,5	21,4	21,4	21,3	21,1	20,7	19,4	16,2
12 lados	21,6	21,5	21,5	21,4	21,2	20,8	19,6	16,5
16 lados	20,9	20,8	20,8	20,7	20,5	20,1	18,7	15,4
20 lados	20,9	20,9	20,8	20,7	20,5	20	18,7	15,4
24 lados	20,8	20,8	20,7	20,6	20,4	20	18,6	15,4
32 lados	20,6	20,6	20,5	20,4	20,2	19,7	18,2	14,6
72 lados	20,5	20,5	20,4	20,3	20,1	19,7	18,2	14,9
120 lados	20,5	20,5	20,4	20,3	20,1	19,7	18,2	14,9

9.2.- Esfera 10,8m de diámetro:

Punto 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
6 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
8 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
10 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
12 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
16 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
20 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,5	38,5	38,4	38,4
24 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,4
32 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,4
72 lados	38,8	38,8	38,8	38,8	38,9	38,9	38,9	38,7
120 lados	39,5	39,5	39,5	39,5	39,6	39,7	39,6	39,2

Punto 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	17,2	17,2	17,2	17,1	17	16,8	16,1	14,8
6 lados	17	17	17	16,9	16,9	16,7	16,1	14,9
8 lados	17,1	17,1	17,1	17	17	16,9	16,3	15
10 lados	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,6	17,1	15,7
12 lados	18,4	18,4	18,4	18,3	18,4	18,4	17,9	16,4
16 lados	18,8	18,8	18,7	18,7	18,8	18,8	18,3	16,8
20 lados	19,9	19,9	19,9	19,8	20	20,1	19,7	18,1
24 lados	20	20	20	19,9	20,2	20,3	19,8	18,2
32 lados	20,7	20,7	20,6	20,6	20,9	21	20,5	18,8
72 lados	20,7	20,7	20,7	20,6	20,8	20,9	20,3	18,5
120 lados	20,7	20,7	20,6	20,6	20,8	20,9	20,3	18,5

Punto 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	15,8	15,8	15,7	15,6	15,5	15,1	14	11,6
6 lados	15,4	15,4	15,3	15,2	15,2	14,9	13,9	11,6
8 lados	15,5	15,5	15,4	15,3	15,3	15,1	14,1	11,9
10 lados	16	16	15,9	15,8	15,9	15,7	14,8	12,7
12 lados	16,3	16,3	16,2	16,1	16,2	16,1	15,2	13,1
16 lados	16,4	16,3	16,3	16,2	16,3	16,1	15,3	13,2
20 lados	16,3	16,3	16,2	16,2	16,2	16	15,2	13
24 lados	16	15,9	15,9	15,8	15,8	15,7	14,8	12,6
32 lados	15,9	15,9	15,8	15,7	15,8	15,6	14,7	12,5
72 lados	16,2	16,1	16,1	16	16	15,8	14,8	12,5
120 lados	16,4	16,4	16,3	16,2	16,2	16	15,1	12,8

Punto 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	15,7	15,7	15,6	15,5	15,3	14,9	13,6	10,6
6 lados	15	14,9	14,8	14,7	14,6	14,2	12,9	10
8 lados	14,8	14,7	14,6	14,5	14,4	14	12,7	9,8
10 lados	14,9	14,9	14,8	14,7	14,6	14,3	13,1	10,4
12 lados	14,6	14,5	14,4	14,3	14,2	13,8	12,4	9,5
16 lados	14,2	14,1	14	13,9	13,8	13,3	11,9	9
20 lados	14,2	14,1	14	13,9	13,8	13,4	12	9,1
24 lados	14,1	14,1	13,9	13,8	13,7	13,2	11,8	8,9
32 lados	14	13,9	13,8	13,6	13,5	13	11,5	8,6
72 lados	14,2	14,2	14	13,9	13,7	13,2	11,7	8,6
120 lados	14,6	14,6	14,5	14,3	14,2	13,7	12,2	9,2

Punto 5	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	16,1	16,1	16	15,8	15,6	15,1	13,6	10,3
6 lados	15	15	14,9	14,7	14,5	14	12,4	9
8 lados	14,7	14,6	14,5	14,4	14,2	13,6	12	8,5
10 lados	14,4	14,4	14,3	14,1	13,9	13,3	11,6	8,1
12 lados	14,2	14,1	14	13,8	13,6	13,1	11,3	7,7
16 lados	13,8	13,8	13,7	13,5	13,3	12,7	10,9	7,4
20 lados	13,9	13,9	13,7	13,5	13,3	12,8	11	7,7
24 lados	13,9	13,8	13,7	13,5	13,3	12,7	10,9	7,6
32 lados	13,8	13,8	13,6	13,4	13,2	12,7	10,9	7,6
72 lados	14,1	14	13,9	13,7	13,5	12,9	11,2	7,8
120 lados	14,2	14,2	14,1	13,8	13,6	13	11,3	7,8

Punto 6	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	17,2	17,2	17,1	16,9	16,7	16,1	14,6	11,1
6 lados	15,8	15,7	15,6	15,4	15,2	14,6	12,7	8,7
8 lados	15,4	15,4	15,3	15,1	14,8	14,2	12,3	8,1
10 lados	15,3	15,3	15,2	14,9	14,7	13,9	11,9	7,7
12 lados	15,4	15,4	15,3	15,1	14,8	14,1	12,1	7,9
16 lados	14,8	14,7	14,6	14,4	14,1	13,3	11,1	7
20 lados	14,8	14,7	14,6	14,3	14	13,3	11,1	7,1
24 lados	14,7	14,7	14,5	14,3	14	13,2	11,1	7,1
32 lados	14,7	14,7	14,5	14,3	13,9	13,1	10,9	7
72 lados	14,4	14,4	14,2	13,9	13,6	12,8	10,6	6,3
120 lados	14,4	14,3	14,2	13,9	13,6	12,8	10,5	6,3

9.3.- Semiesfera:

Punto 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
8 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
10 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
12 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
16 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
20 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,4
24 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5
32 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,6	38,6	38,5
72 lados	38,9	38,9	38,9	38,9	39	39,1	39,1	39
120 lados	39,6	39,6	39,7	39,7	39,8	39,9	39,9	39,7

Punto 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	13,7	13,7	13,7	13,8	13,9	14	13,8	13,3
8 lados	13,7	13,7	13,7	13,7	13,8	13,9	13,8	13,2
10 lados	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,5	14,4	13,7
12 lados	14,4	14,4	14,4	14,4	14,6	14,8	14,8	14,1
16 lados	13,8	13,8	13,8	13,8	14	14,2	14,1	13,5
20 lados	13,8	13,8	13,9	13,9	14,1	14,4	14,3	13,7
24 lados	13,8	13,8	13,8	13,9	14,1	14,3	14,3	13,7
32 lados	13,7	13,8	13,8	13,8	14	14,3	14,2	13,7
72 lados	13,3	13,3	13,3	13,3	13,6	13,8	13,8	13,2
120 lados	13,3	13,3	13,3	13,3	13,6	13,8	13,7	13,2

Punto 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	9,2	9,2	9,2	9,2	9,3	9,4	9,2	8,3
8 lados	7,6	7,6	7,6	7,6	7,7	7,7	7,5	6,6
10 lados	7,7	7,7	7,7	7,8	8	8,2	8	7,2
12 lados	7,7	7,7	7,7	7,7	7,9	8,1	8	7,2
16 lados	7,5	7,5	7,6	7,6	7,8	8	7,9	7,1
20 lados	7,5	7,5	7,5	7,5	7,7	7,9	7,8	7
24 lados	6,9	6,9	6,9	6,9	7,1	7,3	7,1	6,4
32 lados	6,2	6,2	6,2	6,2	6,4	6,5	6,4	5,7
72 lados	6,2	6,2	6,2	6,2	6,3	6,4	6,3	5,6
120 lados	6,5	6,5	6,5	6,5	6,7	6,8	6,7	5,9

Punto 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	5,1	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	4,9	3,8
8 lados	3,8	3,8	3,8	3,8	4	4,1	3,9	2,9
10 lados	3,7	3,7	3,7	3,7	3,9	4	3,8	2,8
12 lados	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,9	3,7	2,7
16 lados	3,5	3,5	3,5	3,5	3,7	3,9	3,7	2,7
20 lados	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6	3,8	3,6	2,6
24 lados	3,4	3,5	3,5	3,5	3,6	3,8	3,6	2,6
32 lados	3,4	3,4	3,4	3,4	3,6	3,8	3,6	2,6
72 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,3	1,4
120 lados	2,9	2,9	2,9	2,9	3	3,1	2,9	1,9

Punto 5	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2	0,5
8 lados	1,9	1,9	1,9	1,9	2,1	2,2	2	0,7
10 lados	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	-0,9
12 lados	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	2	1,8	0,5
16 lados	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	1,7	0,4
20 lados	0,9	1	1	1	1,1	1,2	1	-0,3
24 lados	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	0,9	-0,3
32 lados	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,9	1,6	0,3
72 lados	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,8	-1,9
120 lados	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	-1,1

Punto 6	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	0,5	-1,3
8 lados	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,4	-1,1
10 lados	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,4	-2,9
12 lados	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	1	0,6	-1,1
16 lados	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,1	-1,5
20 lados	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,7	-2,3
24 lados	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,8	-2,3
32 lados	0	0	0	0	0,2	0,4	0	-1,5
72 lados	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,7	-4
120 lados	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,7	-4

9.4.- Cilindro 5,4m de diámetro:

Punto 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
6 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
8 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
10 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
12 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
16 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
20 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
24 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
32 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
72 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,5	38,5	38,4	38,4
120 lados	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5

Punto 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	20,2	20,2	20,2	20,1	20,1	20,1	20	19,7
6 lados	20	20	20	20	20	20	19,9	19,6
8 lados	20	20	20	20	20	20	19,9	19,6
10 lados	20	20	20	20	20	20	19,9	19,7
12 lados	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20	19,7
16 lados	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,2	19,9
20 lados	20,5	20,5	20,4	20,4	20,5	20,5	20,4	20
24 lados	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,5	20,1
32 lados	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,8	20,7	20,3
72 lados	20,5	20,5	20,4	20,4	20,5	20,5	20,4	20
120 lados	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,4	20

Punto 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	16,4	16,4	16,4	16,4	16,3	16,2	15,9	15,2
6 lados	16	15,9	15,9	15,9	15,9	15,8	15,6	14,9
8 lados	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,8	15,6	15
10 lados	16,1	16,1	16,1	16	16	16	15,8	15,2
12 lados	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,1	15,9	15,3
16 lados	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,1	15,5
20 lados	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16	15,3
24 lados	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,7	15,1
32 lados	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,7	15,1
72 lados	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	15,9	15,2
120 lados	16	16	16	16	16	15,9	15,7	15,1

Punto 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	15,1	15,1	15,1	15,1	15	14,8	14,4	13,4
6 lados	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3	14,2	13,9	12,9
8 lados	14,3	14,3	14,3	14,3	14,2	14,2	13,8	12,9
10 lados	14,5	14,5	14,4	14,4	14,4	14,3	14	13,1
12 lados	14,1	14,1	14,1	14,1	14	14	13,6	12,7
16 lados	13,6	13,6	13,5	13,5	13,5	13,4	13,1	12,2
20 lados	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,1	12,2
24 lados	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,1	12,2
32 lados	13,5	13,5	13,5	13,4	13,4	13,4	13	12,1
72 lados	13,9	13,9	13,9	13,8	13,8	13,8	13,5	12,6
120 lados	14	14	14	14	14	13,9	13,6	12,6

Punto 5	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	14,8	14,8	14,8	14,7	14,6	14,4	13,9	12,6
6 lados	13,8	13,8	13,8	13,7	13,6	13,5	13	11,8
8 lados	13,3	13,3	13,3	13,3	13,2	13	12,6	11,4
10 lados	13,3	13,3	13,2	13,2	13,1	13	12,5	11,3
12 lados	13,1	13	13	13	12,9	12,8	12,3	11,1
16 lados	12,7	12,7	12,7	12,7	12,6	12,5	12,1	10,9
20 lados	12,9	12,9	12,8	12,8	12,7	12,6	12,2	11
24 lados	12,7	12,7	12,7	12,7	12,6	12,5	12,1	10,9
32 lados	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,5	12,1	10,9
72 lados	12,6	12,6	12,6	12,6	12,5	12,4	12	10,9
120 lados	12,2	12,2	12,1	12,1	12,1	11,9	11,4	10,2

Punto 6	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	14,9	14,8	14,8	14,7	14,6	14,3	13,6	12
6 lados	14	13,9	13,9	13,9	13,7	13,4	12,8	11,3
8 lados	13,7	13,7	13,6	13,6	13,5	13,2	12,6	11,1
10 lados	14,3	14,3	14,2	14,2	14	13,8	13,2	11,4
12 lados	13,3	13,3	13,3	13,2	13,1	12,8	12,3	10,8
16 lados	12,7	12,7	12,6	12,6	12,5	12,2	11,7	10,4
20 lados	13,2	13,2	13,1	13,1	13	12,7	12,1	10,6
24 lados	13,2	13,2	13,1	13,1	13	12,7	12,2	10,8
32 lados	11,8	11,8	11,8	11,7	11,6	11,3	10,7	9,2
72 lados	11,5	11,5	11,5	11,5	11,4	11,2	10,6	9,2
120 lados	11,4	11,4	11,4	11,3	11,2	11	10,5	9,1

9.5.- Cilindro 10,8m de diámetro:

Punto 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
6 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
8 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
10 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
12 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
16 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
20 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
24 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
32 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
72 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
120 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4

Punto 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	14,5	14,5	14,4	14,4	14,4	14,3	14,2	13,7
6 lados	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,2	14,1	13,7
8 lados	14,3	14,3	14,3	14,3	14,2	14,2	14,1	13,7
10 lados	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,1	13,7
12 lados	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3	14,2	13,8
16 lados	14,6	14,6	14,6	14,5	14,5	14,5	14,3	13,9
20 lados	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14
24 lados	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,6	14,1
32 lados	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	14,9	14,3
72 lados	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14
120 lados	14,8	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14

Punto 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	10,5	10,5	10,4	10,4	10,3	10,2	9,7	8,7
6 lados	10	10	10	10	9,9	9,8	9,4	8,4
8 lados	10	10	10	9,9	9,9	9,8	9,4	8,5
10 lados	10,2	10,1	10,1	10,1	10,1	10	9,6	8,6
12 lados	10,3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,1	9,8	8,7
16 lados	10,6	10,6	10,6	10,5	10,5	10,5	10,1	9
20 lados	10,3	10,3	10,3	10,3	10,2	10,2	9,8	8,7
24 lados	10,1	10,1	10	10	10	9,9	9,5	8,5
32 lados	10	10	10	10	10	9,9	9,5	8,5
72 lados	10	10	10	10	10	9,9	9,5	8,5
120 lados	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,1	9,7	8,7

Punto 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	9,1	9,1	9,1	9	8,9	8,7	8	6,4
6 lados	8,4	8,4	8,4	8,3	8,3	8,1	7,5	5,9
8 lados	8,3	8,3	8,3	8,2	8,2	8	7,5	6
10 lados	8,5	8,5	8,4	8,4	8,3	8,2	7,7	6,2
12 lados	8,4	8,4	8,4	8,3	8,3	8,2	7,6	6,1
16 lados	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5	7,3	6,8	5,4
20 lados	7,6	7,6	7,5	7,5	7,4	7,3	6,7	5,3
24 lados	7,5	7,5	7,5	7,5	7,4	7,3	6,7	5,3
32 lados	7,6	7,5	7,5	7,5	7,4	7,3	6,7	5,3
72 lados	7,6	7,5	7,5	7,5	7,4	7,3	6,7	5,3
120 lados	8	8	8	7,9	7,9	7,7	7,2	5,7

Punto 5	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	8,8	8,8	8,7	8,6	8,5	8,1	7,4	5,4
6 lados	7,8	7,8	7,7	7,7	7,5	7,2	6,5	4,6
8 lados	7,3	7,3	7,3	7,2	7,1	6,8	6,1	4,2
10 lados	7,2	7,2	7,2	7,1	7	6,7	6	4,1
12 lados	7	7	7	6,9	6,8	6,6	5,8	4
16 lados	6,7	6,7	6,7	6,6	6,5	6,3	5,6	3,9
20 lados	6,8	6,8	6,8	6,7	6,6	6,4	5,7	3,9
24 lados	6,7	6,7	6,7	6,6	6,5	6,3	5,6	3,8
32 lados	6,8	6,8	6,7	6,6	6,6	6,3	5,6	3,8
72 lados	6,7	6,7	6,6	6,6	6,5	6,3	5,6	3,8
120 lados	6,8	6,8	6,8	6,7	6,6	6,4	5,6	3,8

Punto 6	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
4 lados	8,8	8,8	8,8	8,7	8,4	8	7	4,6
6 lados	7,9	7,9	7,8	7,7	7,5	7,1	6,2	4
8 lados	7,6	7,5	7,5	7,4	7,2	6,8	5,9	3,7
10 lados	8,1	8,1	8,1	8	7,8	7,4	6,3	3,7
12 lados	7,2	7,2	7,2	7,1	6,9	6,5	5,6	3,4
16 lados	6,6	6,6	6,6	6,5	6,3	6	5,2	3,1
20 lados	7,2	7,1	7,1	7	6,8	6,4	5,5	3,2
24 lados	7,1	7,1	7,1	7	6,8	6,5	5,6	3,4
32 lados	6,7	6,6	6,6	6,5	6,3	6	5,1	3,1
72 lados	5,6	5,6	5,6	5,5	5,3	5	4,1	2
120 lados	5,4	5,4	5,3	5,2	5,1	4,8	3,9	1,8

9.6.- Semicilindro:

Punto 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
8 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
10 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
12 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
16 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
20 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
24 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
32 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
72 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
120 lados	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4

Punto 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,4	11,1
8 lados	11,7	11,7	11,6	11,6	11,7	11,7	11,6	11,2
10 lados	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,7	11,3
12 lados	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	12	11,9	11,4
16 lados	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,6	11,2
20 lados	11,5	11,5	11,5	11,5	11,6	11,6	11,5	11,1
24 lados	11,5	11,5	11,5	11,5	11,6	11,6	11,5	11,1
32 lados	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,6	11,5	11,1
72 lados	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,1
120 lados	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,1

Punto 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,4	5,7
8 lados	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,7	5
10 lados	6,1	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2	6	5,3
12 lados	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	4,8
16 lados	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	4,7
20 lados	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	4,7
24 lados	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	4,7
32 lados	5,5	5,5	5,4	5,4	5,5	5,5	5,3	4,7
72 lados	5,8	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,7	5,1
120 lados	5,8	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,7	5,1

Punto 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	4	4	4	4	4	4	3,7	2,6
8 lados	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,8	1,8
10 lados	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3	2
12 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,3	1,4
16 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,3	1,3
20 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,2	1,3
24 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	1,3
32 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	1,3
72 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	1,3
120 lados	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	1,3

Punto 5	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0	-1,3
8 lados	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2	-1
10 lados	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,8	-1,9
12 lados	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,1	-1,1
16 lados	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1	-1,1
20 lados	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	-1,1
24 lados	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0	-1,2
32 lados	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0	-1,2
72 lados	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0	-1,2
120 lados	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0	-1,2

Punto 6	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
6 lados	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,7	-3,2
8 lados	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3	-1,2	-1,1	-1,5	-3
10 lados	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,6	-4
12 lados	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,6	-3,1
16 lados	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,6	-3,1
20 lados	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,6	-3,1
24 lados	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,7	-3,1
32 lados	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,7	-3,1
72 lados	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,4	-1,7	-3,2
120 lados	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,7	-3,2

9.7.- Etxano T20:

T20 medido	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
1	7,68	7,77	6,95	5,88	5,01	3,95	2,72	1,34	1,04
2	7,56	7,6	6,72	6,01	5,07	3,95	2,76	1,42	1,11
3	7,39	7,05	6,64	6,17	5,18	4,12	2,83	1,42	1,18
4	7,49	7,53	6,52	6,05	5,23	4,1	2,84	1,48	1,2
5	7,87	7,51	6,95	5,88	5,26	4,18	2,91	1,47	1,16
6	7,28	6,97	6,73	5,83	5,18	4,18	2,9	1,54	1,28
7	8,53	7,54	6,98	6,09	5,37	4,26	2,86	1,37	1,1
8	8,68	7,18	6,76	6,27	5,37	4,33	2,9	1,37	1,15
9	8,32	7,68	7,03	6,37	5,49	4,24	2,99	1,52	1,23
10	7,64	7,3	6,87	6,4	5,32	4,35	2,97	1,5	1,26
11	7,56	7,91	7,13	6,32	5,36	4,33	2,98	1,56	1,25
12	7,39	7,72	6,95	6,31	5,44	4,21	2,96	1,54	1,15
13	7,45	8,04	6,9	6,16	5,45	4,16	2,73	1,26	0,88
14	7,5	7,7	7,02	6,25	5,35	4,23	2,88	1,29	1
15	7,56	7,54	6,98	5,97	5,42	4,33	2,83	1,34	1,01
16	7,61	7,46	6,82	6,12	5,39	4,27	2,87	1,34	1,06

T20 6 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,02	8,11	7,28	6,07	5,15	3,97	2,71	1,27
2	8,02	8,1	7,3	6,1	5,19	4,01	2,71	1,3
3	7,95	8,03	7,23	6,04	5,14	4,01	2,74	1,36
4	7,96	8,03	7,2	5,99	5,09	4	2,76	1,35
5	8	8,08	7,25	6,02	5,1	4,01	2,78	1,35
6	7,98	8,06	7,21	5,99	5,11	4,03	2,78	1,35
7	8,07	8,15	7,33	6,12	5,18	3,99	2,69	1,29
8	8	8,08	7,27	6,1	5,2	4,02	2,73	1,29
9	7,98	8,05	7,24	6,05	5,14	4,02	2,75	1,34
10	7,93	8,01	7,2	6,01	5,1	4	2,73	1,36
11	7,95	8,03	7,19	5,98	5,1	4,05	2,81	1,34
12	7,96	8,04	7,2	5,99	5,11	4,04	2,78	1,35
13	7,98	8,06	7,21	6,01	5,08	3,95	2,67	1,23
14	7,92	7,99	7,15	5,98	5,07	3,96	2,69	1,24
15	7,97	8,05	7,21	6,01	5,08	3,93	2,66	1,23
16	7,94	8,02	7,2	6	5,07	3,95	2,67	1,23



T20 8 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8	8,08	7,23	6,04	5,15	4,03	2,75	1,27
2	8,01	8,08	7,22	5,99	5,11	4	2,76	1,3
3	8	8,09	7,2	5,98	5,09	3,99	2,75	1,34
4	7,98	8,06	7,22	6,01	5,13	4,01	2,75	1,33
5	7,99	8,06	7,23	6,03	5,14	4,01	2,74	1,33
6	7,96	8,03	7,2	5,98	5,09	3,99	2,77	1,34
7	8,01	8,09	7,21	6	5,13	4,03	2,78	1,28
8	8,04	8,12	7,25	6,03	5,13	4,01	2,75	1,3
9	7,99	8,07	7,19	5,97	5,08	3,99	2,76	1,35
10	7,98	8,06	7,19	5,98	5,1	4	2,75	1,33
11	7,99	8,06	7,23	6,02	5,12	4	2,75	1,33
12	7,97	8,05	7,21	5,99	5,09	3,99	2,75	1,33
13	7,92	8	7,19	6,05	5,15	4	2,75	1,21
14	7,91	7,98	7,19	6,04	5,14	4	2,78	1,24
15	7,94	8,01	7,19	6,04	5,15	3,99	2,76	1,2
16	7,93	8	7,2	6,06	5,17	4,02	2,74	1,2

T20 10 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,08	8,15	7,3	6,07	5,19	4,08	2,76	1,26
2	8,07	8,15	7,3	6,09	5,21	4,08	2,78	1,3
3	8,02	8,09	7,26	6,07	5,2	4,06	2,79	1,36
4	8,03	8,1	7,28	6,07	5,16	4,02	2,76	1,35
5	8,04	8,11	7,29	6,09	5,17	4,02	2,75	1,35
6	8,07	8,15	7,32	6,13	5,19	4	2,72	1,35
7	8,12	8,2	7,35	6,11	5,21	4,08	2,77	1,29
8	8,11	8,19	7,34	6,09	5,18	4,06	2,77	1,29
9	8	8,07	7,23	6,02	5,15	4,03	2,79	1,36
10	8	8,07	7,24	6,04	5,16	4,04	2,79	1,36
11	8,01	8,08	7,27	6,09	5,19	4,03	2,73	1,35
12	8,08	8,15	7,34	6,13	5,2	4,01	2,71	1,36
13	7,97	8,04	7,21	6,05	5,25	4,12	2,74	1,2
14	8	8,07	7,24	6,09	5,29	4,14	2,73	1,22
15	8,01	8,09	7,23	6,05	5,22	4,11	2,76	1,19
16	7,98	8,06	7,21	6,03	5,23	4,13	2,77	1,19



T20 12 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,08	8,16	7,3	6,09	5,21	4,06	2,76	1,26
2	8,06	8,14	7,31	6,1	5,2	4,06	2,77	1,3
3	8,11	8,18	7,33	6,09	5,17	4,03	2,76	1,34
4	8,09	8,16	7,31	6,08	5,19	4,04	2,76	1,34
5	8,01	8,08	7,24	6,05	5,18	4,05	2,78	1,34
6	7,98	8,05	7,22	6,06	5,19	4,08	2,8	1,32
7	8,09	8,17	7,32	6,1	5,2	4,04	2,78	1,28
8	8,1	8,18	7,33	6,12	5,21	4,05	2,76	1,29
9	8,1	8,18	7,32	6,08	5,17	4,03	2,75	1,33
10	8,13	8,2	7,35	6,12	5,2	4,04	2,75	1,35
11	7,98	8,05	7,22	6,04	5,17	4,07	2,79	1,32
12	7,98	8,05	7,22	6,04	5,18	4,06	2,8	1,33
13	8,07	8,14	7,27	6,07	5,22	4,07	2,74	1,21
14	8,08	8,16	7,3	6,09	5,23	4,06	2,74	1,23
15	8,09	8,16	7,28	6,1	5,25	4,07	2,73	1,19
16	8,07	8,16	7,31	6,11	5,25	4,09	2,71	1,21

T20 16 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,06	8,14	7,27	6,08	5,21	4,08	2,79	1,27
2	8,07	8,15	7,28	6,09	5,21	4,08	2,79	1,3
3	8,03	8,11	7,25	6,05	5,18	4,07	2,79	1,34
4	8,02	8,09	7,26	6,07	5,2	4,08	2,79	1,32
5	8,02	8,1	7,29	6,12	5,22	4,08	2,78	1,32
6	8,06	8,14	7,32	6,1	5,17	4,04	2,77	1,32
7	8,08	8,16	7,28	6,1	5,23	4,11	2,81	1,29
8	8,05	8,13	7,27	6,1	5,23	4,11	2,78	1,29
9	8,03	8,11	7,26	6,06	5,18	4,05	2,79	1,33
10	8,04	8,12	7,26	6,04	5,17	4,06	2,77	1,35
11	8,04	8,11	7,3	6,12	5,19	4,06	2,76	1,31
12	8,08	8,15	7,34	6,12	5,19	4,05	2,78	1,31
13	8,23	8,32	7,42	6,16	5,2	4,01	2,72	1,21
14	8,23	8,31	7,41	6,15	5,19	4,01	2,72	1,23
15	8,25	8,32	7,42	6,16	5,19	4,01	2,75	1,19
16	8,27	8,35	7,46	6,18	5,21	4,01	2,72	1,21

T20 20 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,07	8,14	7,31	6,08	5,22	4,1	2,75	1,27
2	8,06	8,13	7,31	6,09	5,21	4,08	2,77	1,31
3	8,05	8,12	7,31	6,12	5,22	4,06	2,76	1,35
4	8,07	8,16	7,31	6,11	5,2	4,04	2,77	1,34
5	8,07	8,15	7,32	6,13	5,22	4,05	2,78	1,32
6	8,03	8,1	7,3	6,14	5,26	4,08	2,78	1,34
7	8,05	8,13	7,3	6,09	5,22	4,08	2,76	1,31
8	8,08	8,15	7,33	6,1	5,21	4,1	2,76	1,29
9	8,06	8,13	7,29	6,1	5,18	4,03	2,75	1,37
10	8,07	8,15	7,31	6,12	5,2	4,05	2,75	1,35
11	8,08	8,15	7,33	6,14	5,23	4,05	2,77	1,33
12	8,04	8,12	7,28	6,11	5,22	4,06	2,8	1,33
13	8,05	8,13	7,28	6,06	5,21	4,08	2,77	1,22
14	8,03	8,11	7,27	6,07	5,22	4,08	2,78	1,22
15	8,05	8,13	7,26	5,99	5,15	4,06	2,77	1,22
16	8,06	8,13	7,3	6,08	5,19	4,06	2,73	1,24

T20 24 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,03	8,11	7,25	6,04	5,18	4,05	2,76	1,27
2	8,06	8,13	7,28	6,06	5,18	4,05	2,77	1,3
3	8,08	8,16	7,33	6,12	5,22	4,09	2,77	1,33
4	8,08	8,15	7,33	6,13	5,24	4,11	2,79	1,33
5	8,09	8,16	7,34	6,14	5,23	4,1	2,77	1,34
6	8,12	8,19	7,36	6,14	5,2	4,06	2,79	1,34
7	8,05	8,12	7,27	6,05	5,16	4,04	2,75	1,3
8	8,05	8,13	7,26	6,02	5,14	4,01	2,76	1,29
9	8,09	8,16	7,35	6,14	5,24	4,11	2,8	1,33
10	8,08	8,15	7,34	6,13	5,25	4,13	2,78	1,34
11	8,1	8,18	7,35	6,14	5,22	4,09	2,79	1,35
12	8,07	8,14	7,32	6,12	5,19	4,07	2,79	1,34
13	8,02	8,1	7,26	6,07	5,21	4,04	2,7	1,23
14	8,06	8,14	7,28	6,05	5,18	4,02	2,72	1,23
15	8,08	8,16	7,3	6,11	5,25	4,04	2,71	1,21
16	8,02	8,08	7,25	6,08	5,23	4,06	2,72	1,2



T20 32 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,07	8,15	7,3	6,09	5,19	4,06	2,78	1,28
2	8,04	8,12	7,26	6,05	5,17	4,06	2,8	1,31
3	8,1	8,18	7,34	6,14	5,24	4,09	2,79	1,34
4	8,13	8,21	7,36	6,14	5,24	4,11	2,78	1,34
5	8,12	8,2	7,35	6,13	5,23	4,11	2,78	1,33
6	8,13	8,21	7,39	6,19	5,28	4,13	2,78	1,31
7	8,02	8,1	7,25	6,05	5,16	4,04	2,8	1,32
8	8,05	8,12	7,26	6,06	5,18	4,07	2,79	1,31
9	8,14	8,21	7,37	6,16	5,24	4,08	2,78	1,35
10	8,13	8,2	7,36	6,15	5,24	4,1	2,79	1,34
11	8,13	8,2	7,37	6,16	5,24	4,13	2,79	1,31
12	8,13	8,2	7,37	6,16	5,25	4,13	2,78	1,32
13	8,09	8,16	7,33	6,13	5,18	4,05	2,74	1,22
14	8,12	8,2	7,36	6,13	5,16	4,02	2,72	1,22
15	8,1	8,18	7,32	6,1	5,15	4,03	2,74	1,22
16	8,14	8,21	7,36	6,1	5,15	4,02	2,7	1,22

T20 72 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,13	8,21	7,35	6,12	5,21	4,07	2,77	1,28
2	8,16	8,23	7,39	6,15	5,23	4,07	2,77	1,31
3	8,14	8,22	7,38	6,16	5,24	4,09	2,78	1,33
4	8,14	8,22	7,38	6,16	5,23	4,08	2,77	1,35
5	8,13	8,21	7,36	6,14	5,23	4,1	2,77	1,35
6	8,1	8,17	7,33	6,12	5,22	4,1	2,79	1,35
7	8,18	8,26	7,41	6,16	5,22	4,05	2,76	1,31
8	8,15	8,22	7,38	6,13	5,21	4,07	2,77	1,3
9	8,15	8,22	7,39	6,16	5,24	4,09	2,78	1,34
10	8,16	8,23	7,4	6,16	5,23	4,08	2,77	1,34
11	8,1	8,18	7,34	6,14	5,23	4,1	2,77	1,36
12	8,12	8,2	7,36	6,15	5,25	4,1	2,77	1,36
13	8,12	8,2	7,34	6,13	5,22	4,05	2,72	1,22
14	8,11	8,19	7,33	6,12	5,19	4,02	2,69	1,2
15	8,07	8,15	7,31	6,13	5,24	4,08	2,73	1,21
16	8,1	8,17	7,31	6,11	5,21	4,05	2,73	1,22



T20 120 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,12	8,2	7,35	6,13	5,23	4,08	2,76	1,27
2	8,12	8,19	7,35	6,13	5,23	4,09	2,77	1,31
3	8,11	8,18	7,34	6,12	5,22	4,09	2,79	1,34
4	8,1	8,18	7,33	6,11	5,21	4,08	2,79	1,34
5	8,1	8,18	7,33	6,11	5,2	4,06	2,78	1,34
6	8,13	8,21	7,35	6,12	5,2	4,05	2,77	1,34
7	8,11	8,18	7,34	6,12	5,22	4,09	2,78	1,3
8	8,11	8,19	7,35	6,14	5,23	4,09	2,76	1,3
9	8,11	8,19	7,35	6,12	5,21	4,08	2,79	1,35
10	8,11	8,19	7,35	6,12	5,21	4,09	2,79	1,34
11	8,12	8,2	7,34	6,11	5,19	4,04	2,77	1,34
12	8,11	8,19	7,34	6,11	5,2	4,06	2,78	1,33
13	8,12	8,2	7,34	6,13	5,22	4,06	2,72	1,21
14	8,11	8,19	7,34	6,11	5,18	4,01	2,65	1,17
15	8,11	8,19	7,34	6,13	5,22	4,06	2,71	1,19
16	8,1	8,18	7,33	6,13	5,23	4,07	2,71	1,19

T20 6	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,95	8,02	7,24	6,06	5,18	4,04	2,77	1,26
2	7,99	8,07	7,29	6,1	5,18	4,03	2,76	1,31
3	7,98	8,05	7,27	6,08	5,17	4,04	2,77	1,33
4	7,96	8,04	7,26	6,07	5,17	4,06	2,77	1,33
5	7,99	8,07	7,26	6,06	5,17	4,06	2,76	1,32
6	8,01	8,09	7,29	6,1	5,19	4,07	2,76	1,33
7	7,98	8,05	7,28	6,1	5,19	4,03	2,76	1,3
8	7,97	8,04	7,26	6,06	5,17	4,03	2,77	1,3
9	7,96	8,03	7,26	6,08	5,19	4,06	2,77	1,33
10	7,96	8,04	7,26	6,08	5,16	4,05	2,78	1,33
11	8,01	8,09	7,29	6,09	5,2	4,07	2,75	1,32
12	8	8,08	7,26	6,06	5,16	4,07	2,76	1,32
13	7,93	8	7,22	6,04	5,16	4	2,72	1,19
14	7,95	8,02	7,26	6,08	5,18	4,01	2,73	1,21
15	7,98	8,05	7,28	6,1	5,2	4,01	2,7	1,19
16	7,97	8,04	7,28	6,09	5,22	4,02	2,71	1,19



T20 8	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,99	8,07	7,29	6,09	5,2	4,02	2,74	1,27
2	8	8,08	7,28	6,06	5,16	4,01	2,74	1,32
3	7,98	8,06	7,26	6,05	5,15	4,04	2,77	1,34
4	8	8,07	7,28	6,05	5,16	4,08	2,8	1,33
5	7,96	8,04	7,25	6,05	5,16	4,06	2,79	1,33
6	7,93	8	7,22	6,05	5,16	4,04	2,75	1,35
7	7,98	8,06	7,27	6,07	5,18	4,02	2,74	1,31
8	8,01	8,08	7,29	6,09	5,21	4,03	2,73	1,3
9	7,96	8,03	7,24	6,03	5,14	4,06	2,8	1,33
10	7,97	8,04	7,25	6,06	5,17	4,07	2,79	1,34
11	7,9	7,97	7,2	6,04	5,16	4,07	2,78	1,34
12	7,95	8,02	7,23	6,05	5,16	4,03	2,77	1,35
13	7,96	8,03	7,26	6,08	5,18	4,02	2,73	1,18
14	7,95	8,03	7,26	6,07	5,17	4	2,73	1,2
15	7,96	8,04	7,25	6,07	5,21	4,03	2,71	1,2
16	8	8,07	7,31	6,13	5,22	4,02	2,74	1,21

T20 10	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,93	8	7,26	6,1	5,2	4,05	2,75	1,26
2	7,92	7,99	7,27	6,11	5,2	4,05	2,76	1,3
3	7,97	8,04	7,3	6,14	5,23	4,1	2,78	1,33
4	7,94	8,02	7,28	6,11	5,23	4,12	2,78	1,34
5	7,93	8	7,27	6,1	5,23	4,12	2,79	1,35
6	7,94	8,01	7,28	6,11	5,23	4,09	2,79	1,37
7	7,92	7,99	7,25	6,09	5,19	4,03	2,75	1,29
8	7,91	7,98	7,25	6,11	5,19	4,03	2,76	1,3
9	7,97	8,04	7,32	6,16	5,25	4,13	2,79	1,33
10	7,97	8,05	7,3	6,13	5,22	4,1	2,77	1,35
11	7,93	8	7,29	6,12	5,22	4,09	2,77	1,36
12	7,93	8	7,26	6,09	5,21	4,09	2,8	1,36
13	7,85	7,92	7,2	6,05	5,15	4,05	2,71	1,17
14	7,88	7,95	7,23	6,07	5,15	4,05	2,73	1,18
15	7,87	7,94	7,19	6,01	5,13	4,02	2,75	1,18
16	7,85	7,92	7,22	6,05	5,15	4,05	2,71	1,17



T20 12	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,07	8,14	7,38	6,14	5,18	3,99	2,72	1,27
2	8,02	8,09	7,33	6,13	5,22	4,07	2,76	1,3
3	7,97	8,04	7,3	6,11	5,24	4,13	2,8	1,35
4	7,99	8,06	7,31	6,1	5,2	4,11	2,8	1,34
5	8	8,07	7,32	6,12	5,22	4,1	2,8	1,34
6	7,94	8,01	7,29	6,14	5,28	4,16	2,83	1,33
7	8,04	8,11	7,35	6,12	5,18	4,03	2,75	1,28
8	8,07	8,14	7,39	6,17	5,22	4,04	2,74	1,27
9	7,95	8,02	7,27	6,09	5,22	4,14	2,82	1,34
10	7,96	8,03	7,3	6,11	5,23	4,14	2,79	1,35
11	8	8,06	7,33	6,16	5,27	4,12	2,8	1,33
12	7,96	8,04	7,32	6,16	5,28	4,12	2,8	1,34
13	7,97	8,05	7,28	6,08	5,14	3,99	2,67	1,18
14	8	8,08	7,31	6,1	5,16	4,01	2,67	1,18
15	7,96	8,03	7,27	6,09	5,15	3,99	2,66	1,21
16	7,93	8	7,26	6,07	5,14	3,98	2,66	1,19

T20 16	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	8,04	8,11	7,34	6,1	5,15	4,02	2,75	1,25
2	8,04	8,11	7,34	6,11	5,18	4,06	2,78	1,3
3	7,99	8,07	7,31	6,13	5,24	4,11	2,81	1,33
4	7,98	8,05	7,3	6,14	5,26	4,11	2,8	1,33
5	7,95	8,02	7,28	6,14	5,26	4,12	2,8	1,34
6	7,99	8,07	7,31	6,18	5,29	4,14	2,79	1,34
7	8,03	8,1	7,35	6,13	5,19	4,06	2,78	1,27
8	8,05	8,12	7,35	6,09	5,16	4,03	2,78	1,29
9	8,01	8,09	7,32	6,13	5,26	4,13	2,81	1,33
10	8	8,07	7,31	6,13	5,26	4,11	2,81	1,33
11	7,98	8,06	7,3	6,15	5,27	4,14	2,81	1,34
12	7,94	8,01	7,26	6,12	5,24	4,11	2,8	1,35
13	8,12	8,19	7,37	6,09	5,16	4,04	2,7	1,18
14	8,14	8,22	7,38	6,09	5,17	4,04	2,68	1,18
15	8,1	8,17	7,35	6,07	5,14	4,03	2,7	1,19
16	8,12	8,2	7,36	6,08	5,11	3,99	2,7	1,19



T20 20	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,97	8,04	7,25	6,04	5,15	4,04	2,75	1,25
2	7,95	8,03	7,25	6,05	5,16	4,08	2,76	1,3
3	7,94	8,01	7,25	6,09	5,19	4,08	2,77	1,34
4	7,96	8,03	7,26	6,1	5,2	4,06	2,78	1,34
5	7,99	8,07	7,27	6,09	5,2	4,06	2,77	1,34
6	8	8,08	7,29	6,1	5,21	4,07	2,76	1,34
7	7,98	8,05	7,27	6,05	5,16	4,07	2,77	1,28
8	7,94	8,01	7,23	6,04	5,17	4,09	2,77	1,28
9	7,89	7,96	7,22	6,09	5,2	4,08	2,76	1,35
10	7,96	8,03	7,26	6,1	5,19	4,08	2,77	1,34
11	8,03	8,1	7,3	6,12	5,21	4,06	2,78	1,34
12	7,98	8,06	7,27	6,07	5,2	4,05	2,76	1,34
13	7,99	8,07	7,28	6,11	5,2	4,03	2,7	1,18
14	7,96	8,04	7,24	6,07	5,18	4	2,69	1,18
15	7,91	7,98	7,22	6,06	5,17	4,02	2,7	1,18
16	8,01	8,09	7,32	6,12	5,19	4,02	2,72	1,16

T20 24	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,91	7,98	7,17	6	5,14	4,03	2,76	1,27
2	7,98	8,06	7,24	6,05	5,16	4,03	2,76	1,31
3	7,99	8,07	7,27	6,08	5,18	4,04	2,77	1,35
4	7,99	8,07	7,28	6,12	5,21	4,07	2,78	1,33
5	7,99	8,06	7,28	6,08	5,17	4,06	2,79	1,33
6	7,94	8,02	7,26	6,06	5,15	4,07	2,8	1,34
7	7,99	8,07	7,24	6,02	5,13	4,01	2,77	1,3
8	7,94	8,02	7,21	6,01	5,13	4,02	2,77	1,31
9	8,02	8,1	7,29	6,08	5,17	4,02	2,76	1,34
10	7,95	8,02	7,26	6,12	5,24	4,1	2,8	1,33
11	7,95	8,03	7,24	6,04	5,13	4,05	2,8	1,34
12	7,98	8,05	7,28	6,09	5,18	4,08	2,81	1,32
13	7,88	7,96	7,18	6,07	5,19	4,04	2,73	1,21
14	7,9	7,98	7,2	6,09	5,2	4,03	2,71	1,19
15	7,8	7,87	7,1	6,04	5,18	4,02	2,73	1,23
16	7,84	7,92	7,15	6,03	5,15	4,01	2,72	1,22



T20 32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,86	7,93	7,14	6	5,15	4,05	2,74	1,25
2	7,82	7,89	7,14	6,01	5,15	4,05	2,77	1,29
3	7,89	7,96	7,19	6	5,11	3,99	2,74	1,33
4	7,93	8,01	7,23	6,04	5,15	3,99	2,73	1,34
5	7,94	8,01	7,23	6,06	5,17	4,01	2,75	1,35
6	7,94	8,01	7,24	6,1	5,19	4,01	2,73	1,36
7	7,86	7,93	7,18	6,04	5,17	4,07	2,78	1,28
8	7,83	7,9	7,13	6	5,15	4,06	2,75	1,29
9	7,9	7,97	7,21	6,02	5,12	3,97	2,74	1,35
10	7,91	7,98	7,2	6,03	5,13	3,98	2,72	1,34
11	7,97	8,05	7,26	6,09	5,17	4	2,75	1,35
12	7,94	8,01	7,25	6,1	5,19	4,01	2,72	1,36
13	7,84	7,93	7,13	5,98	5,14	3,98	2,7	1,19
14	7,85	7,93	7,14	5,98	5,13	3,97	2,7	1,18
15	7,91	7,99	7,21	6,04	5,17	3,99	2,66	1,19
16	7,87	7,95	7,15	5,99	5,17	3,99	2,68	1,2

T20 72	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,84	7,92	7,13	5,95	5,07	3,99	2,72	1,25
2	7,83	7,91	7,11	5,95	5,08	3,98	2,73	1,3
3	7,84	7,92	7,12	5,96	5,1	3,99	2,74	1,33
4	7,84	7,92	7,12	5,95	5,08	4	2,74	1,33
5	7,84	7,92	7,11	5,94	5,08	3,99	2,74	1,34
6	7,85	7,93	7,13	5,96	5,09	4	2,75	1,34
7	7,82	7,9	7,1	5,94	5,07	4	2,73	1,28
8	7,85	7,92	7,14	5,96	5,07	3,97	2,72	1,29
9	7,84	7,92	7,11	5,95	5,1	3,99	2,74	1,34
10	7,84	7,92	7,12	5,96	5,09	3,99	2,75	1,34
11	7,84	7,91	7,12	5,94	5,07	3,99	2,74	1,35
12	7,83	7,9	7,11	5,94	5,06	3,99	2,75	1,34
13	7,86	7,93	7,12	5,95	5,06	3,94	2,68	1,2
14	7,84	7,91	7,1	5,91	5,03	3,91	2,63	1,15
15	7,87	7,95	7,14	5,97	5,08	3,96	2,69	1,2
16	7,84	7,92	7,11	5,95	5,08	3,97	2,68	1,2

T20 120	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	7,84	7,92	7,13	5,96	5,08	3,96	2,71	1,25
2	7,83	7,91	7,12	5,95	5,08	3,96	2,72	1,29
3	7,82	7,89	7,1	5,93	5,06	3,97	2,73	1,33
4	7,82	7,89	7,09	5,92	5,06	3,98	2,74	1,34
5	7,81	7,89	7,08	5,92	5,05	3,97	2,74	1,33
6	7,82	7,89	7,09	5,92	5,05	3,96	2,75	1,34
7	7,82	7,89	7,11	5,95	5,08	3,97	2,72	1,28
8	7,83	7,91	7,12	5,95	5,08	3,97	2,71	1,28
9	7,82	7,9	7,1	5,92	5,06	3,98	2,74	1,33
10	7,8	7,88	7,08	5,92	5,06	3,98	2,74	1,34
11	7,82	7,9	7,09	5,92	5,05	3,96	2,74	1,34
12	7,81	7,89	7,09	5,92	5,06	3,97	2,74	1,34
13	7,87	7,94	7,15	5,97	5,07	3,94	2,65	1,2
14	7,87	7,94	7,14	5,94	5,04	3,87	2,55	1,13
15	7,88	7,95	7,17	5,98	5,07	3,94	2,65	1,2
16	7,84	7,91	7,14	5,98	5,08	3,96	2,66	1,19

Notas: Arriba aparecen las tablas correspondientes a los datos medidos y simulados del T20 de la ermita San Pedro de Etxano. Los parámetros están en segundos. El eje vertical corresponde a las 16 posiciones de micrófono. En el eje horizontal aparecen las distintas bandas de frecuencia en las que se han tomado los datos expresadas en hercios. La celda superior izquierda indica que la tabla expresa el T20 para una determinada subdivisión de las superficies curvas y si se ha utilizado la opción de “fractional” o no, por ejemplo: “T20 72 F” indica que es la tabla correspondiente al T20 para 72 subdivisiones de las superficies curvas utilizando “fractional”; y “T20 6” indica que es la tabla correspondiente al T20 para 6 subdivisiones de las superficies curvas sin utilizar “fractional”.



9.8.- Etxano SPL:

[illegible]

SPL 6 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,3	24,6	23,9	23	21,7	19,5
2	25,1	25,1	24,6	23,8	23	21,9	20,3	17,2
3	24,7	24,7	24,1	23,3	22,4	21	19,1	15,3
4	24,2	24,2	23,6	22,7	21,7	20,2	18	13,4
5	24	24	23,4	22,4	21,5	20	17,7	13
6	23,8	23,9	23,3	22,3	21,3	19,8	17,5	12,6
7	25	25	24,5	23,8	23	21,9	20,3	17,3
8	25	25	24,5	23,8	23	21,9	20,3	17,4
9	24,3	24,3	23,7	22,8	21,9	20,5	18,3	13,9
10	24,3	24,3	23,7	22,8	21,9	20,4	18,3	13,8
11	23,8	23,8	23,3	22,3	21,3	19,8	17,5	12,4
12	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,8	17,5	12,5
13	26,1	26,1	25,7	25,2	24,6	23,8	22,8	21
14	25,7	25,7	25,3	24,6	24	23,1	21,9	19,9
15	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,8	22,8	20,9
16	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,9	22,8	21



SPL 8 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,6	25,2	24,5	23,8	22,8	21,5	19,3
2	25	25	24,5	23,7	22,9	21,7	20,1	16,9
3	24,6	24,6	24	23,2	22,3	20,9	18,9	15
4	24	24	23,5	22,5	21,6	20,1	17,9	13,2
5	23,9	23,9	23,4	22,4	21,5	19,9	17,7	12,9
6	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,9	17,6	12,5
7	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,7	20,1	17,1
8	25	25	24,5	23,8	23	21,9	20,3	17,3
9	24,1	24,2	23,6	22,7	21,8	20,3	18,1	13,7
10	24,1	24,1	23,6	22,7	21,8	20,3	18,2	13,7
11	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,9	17,6	12,4
12	24	24	23,4	22,5	21,4	19,9	17,5	12,4
13	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,9	22,9	21,2
14	25,8	25,8	25,4	24,7	24,1	23,2	22,1	20,1
15	26,4	26,4	26	25,4	24,8	24	22,9	21
16	26,4	26,4	26	25,4	24,7	23,9	22,8	21

SPL 10 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,7	25,2	24,5	23,8	22,9	21,5	19,3
2	25,1	25,1	24,6	23,8	23	21,8	20,2	17,1
3	24,6	24,6	24,1	23,2	22,3	20,9	19	15,2
4	24,1	24,1	23,6	22,6	21,6	20,2	18	13,3
5	24	24	23,4	22,5	21,5	20	17,7	12,8
6	24	24	23,5	22,5	21,5	20	17,7	12,8
7	24,9	24,9	24,4	23,7	22,9	21,7	20,1	17,1
8	25	25	24,5	23,8	23	21,9	20,3	17,3
9	24,2	24,2	23,6	22,7	21,7	20,3	18,1	13,7
10	24,2	24,2	23,6	22,7	21,8	20,3	18,2	13,8
11	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,9	17,6	12,4
12	24	24	23,4	22,5	21,5	19,9	17,6	12,6
13	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	20,9
14	25,8	25,8	25,4	24,7	24,1	23,2	22,1	20,1
15	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,6	20,8
16	26,3	26,3	25,9	25,2	24,6	23,8	22,7	20,8



SPL 12 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,2	24,5	23,8	22,9	21,5	19,3
2	25	25	24,5	23,7	22,9	21,7	20	16,9
3	24,6	24,6	24,1	23,2	22,3	20,9	18,9	15
4	24	24	23,5	22,5	21,5	20	17,8	12,9
5	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,9	17,6	12,7
6	23,8	23,8	23,2	22,3	21,3	19,7	17,4	12,3
7	24,9	24,9	24,5	23,7	22,9	21,7	20,1	17,1
8	25	25	24,5	23,7	23	21,8	20,2	17,3
9	24,2	24,2	23,7	22,8	21,8	20,4	18,3	13,8
10	24,1	24,1	23,6	22,7	21,7	20,3	18,1	13,6
11	23,8	23,8	23,3	22,3	21,3	19,7	17,4	12,2
12	23,9	23,9	23,3	22,4	21,3	19,8	17,4	12,3
13	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	21
14	25,8	25,8	25,4	24,8	24,1	23,3	22,2	20,4
15	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,9	22,8	21
16	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,9

SPL 16 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,6	25,2	24,5	23,8	22,8	21,4	19,2
2	25	25	24,5	23,7	22,9	21,7	20	16,8
3	24,6	24,6	24	23,2	22,2	20,8	18,9	15
4	24,1	24,1	23,5	22,6	21,6	20,1	17,9	13,1
5	24	24	23,4	22,5	21,5	20	17,8	12,9
6	23,9	24	23,4	22,4	21,4	19,9	17,7	12,7
7	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,7	20,1	17,1
8	25	25	24,5	23,7	22,9	21,7	20,1	17,1
9	24,2	24,2	23,7	22,8	21,8	20,4	18,2	13,8
10	24,2	24,2	23,7	22,8	21,8	20,4	18,3	13,8
11	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,9	17,6	12,4
12	24	24	23,4	22,5	21,5	20	17,7	12,7
13	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	20,9
14	25,9	25,9	25,5	24,9	24,3	23,5	22,4	20,6
15	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,8	22,8	20,9
16	26,3	26,3	25,9	25,2	24,6	23,8	22,7	20,8



SPL 20 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,2	24,5	23,8	22,8	21,5	19,2
2	25,1	25,1	24,6	23,8	22,9	21,7	20	16,9
3	24,5	24,5	23,9	23	22,1	20,7	18,6	14,7
4	23,9	24	23,4	22,4	21,4	19,9	17,6	12,7
5	23,9	23,9	23,3	22,3	21,3	19,8	17,5	12,5
6	23,8	23,8	23,2	22,2	21,2	19,6	17,3	12,2
7	25	25	24,5	23,8	23	21,8	20,2	17,2
8	25	25,1	24,6	23,8	23	21,9	20,2	17,2
9	24,1	24,1	23,6	22,6	21,7	20,2	18	13,5
10	24	24	23,5	22,6	21,6	20,1	17,9	13,3
11	23,8	23,8	23,2	22,3	21,3	19,7	17,4	12,2
12	23,9	23,9	23,3	22,3	21,3	19,7	17,3	12,2
13	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	20,9
14	26	26	25,6	25	24,4	23,6	22,6	20,9
15	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,9	22,8	20,9
16	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,8	22,7	20,9

SPL 24 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,2	24,5	23,8	22,8	21,5	19,2
2	25	25,1	24,5	23,7	22,9	21,7	20	16,8
3	24,5	24,5	23,9	23,1	22,1	20,7	18,7	14,9
4	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,9	17,7	12,9
5	23,8	23,8	23,2	22,3	21,3	19,7	17,5	12,5
6	23,7	23,7	23,2	22,2	21,2	19,6	17,3	12,4
7	24,9	25	24,5	23,7	22,9	21,7	20	16,9
8	25	25,1	24,6	23,8	23	21,8	20,2	17,1
9	24,1	24,1	23,5	22,6	21,7	20,2	18,1	13,7
10	24	24,1	23,5	22,6	21,6	20,2	18	13,6
11	23,7	23,7	23,1	22,2	21,2	19,7	17,4	12,4
12	23,8	23,8	23,2	22,3	21,2	19,7	17,3	12,3
13	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	20,9
14	26	26	25,6	25	24,5	23,7	22,6	20,9
15	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,8	22,8	20,9
16	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,8	22,8	20,9



SPL 32 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,6	25,1	24,4	23,7	22,7	21,3	19,1
2	25	25	24,5	23,6	22,8	21,5	19,8	16,6
3	24,5	24,5	23,9	23,1	22,1	20,7	18,7	14,8
4	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,9	17,7	12,9
5	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,9	17,7	12,9
6	23,8	23,8	23,2	22,2	21,2	19,7	17,4	12,3
7	25	25	24,5	23,7	22,8	21,7	20	16,9
8	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,7	20	17,1
9	24,1	24,1	23,5	22,6	21,7	20,2	18,1	13,7
10	24	24	23,5	22,5	21,6	20,1	18	13,5
11	23,8	23,8	23,2	22,3	21,3	19,8	17,5	12,4
12	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,9	17,6	12,5
13	26	26	25,6	25	24,4	23,6	22,6	20,8
14	26,1	26,1	25,8	25,2	24,6	23,9	22,9	21,3
15	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,6	20,8
16	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,9	22,8	20,9

SPL 72 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,6	25,2	24,5	23,8	22,8	21,4	19,2
2	25	25	24,5	23,7	22,8	21,6	19,9	16,7
3	24,5	24,5	24	23,1	22,2	20,8	18,8	15
4	24	24	23,4	22,4	21,4	19,9	17,7	12,8
5	23,9	23,9	23,3	22,3	21,3	19,8	17,5	12,7
6	23,8	23,8	23,2	22,2	21,2	19,6	17,3	12,2
7	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,7	20	16,9
8	24,9	24,9	24,4	23,7	22,9	21,7	20,1	17
9	24,1	24,1	23,5	22,6	21,6	20,2	18	13,4
10	24,1	24,1	23,5	22,6	21,6	20,2	18	13,4
11	23,8	23,8	23,2	22,2	21,2	19,7	17,3	12,1
12	23,8	23,8	23,2	22,3	21,3	19,7	17,3	12,2
13	26	26	25,6	25	24,4	23,6	22,6	20,8
14	26,7	26,7	26,4	25,9	25,4	24,8	24	22,7
15	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,8
16	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,8

SPL 120 F	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,6	25,1	24,4	23,7	22,7	21,4	19,1
2	25	25	24,5	23,7	22,8	21,6	19,9	16,7
3	24,5	24,5	24	23,1	22,1	20,7	18,7	14,7
4	24	24	23,4	22,5	21,5	20	17,7	12,9
5	23,9	23,9	23,3	22,3	21,3	19,8	17,5	12,6
6	23,8	23,8	23,3	22,3	21,3	19,7	17,3	12,1
7	24,9	24,9	24,4	23,7	22,9	21,7	20,1	17
8	25	25	24,5	23,7	22,9	21,8	20,2	17,2
9	24,1	24,1	23,5	22,6	21,6	20,2	17,9	13,3
10	24,1	24,1	23,5	22,6	21,7	20,2	18	13,5
11	23,8	23,8	23,2	22,3	21,3	19,7	17,3	12,2
12	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,8	17,5	12,3
13	26	26	25,6	25	24,4	23,7	22,6	20,8
14	27,4	27,4	27,1	26,7	26,3	25,7	25,1	24
15	26,2	26,3	25,9	25,3	24,7	23,8	22,8	20,9
16	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,8	22,8	20,9

SPL 6	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,3	24,6	23,9	23	21,7	19,6
2	25,3	25,3	24,8	24	23,2	22	20,3	17,2
3	24,9	24,9	24,4	23,5	22,6	21,2	19,2	15,3
4	24,4	24,4	23,9	22,9	22	20,5	18,3	13,5
5	24,3	24,3	23,8	22,8	21,9	20,4	18,1	13,3
6	24,1	24,1	23,5	22,6	21,6	20	17,7	12,7
7	25,1	25,1	24,6	23,8	23	21,9	20,3	17,3
8	25,1	25,1	24,7	23,9	23,1	22	20,4	17,4
9	24,5	24,5	24	23	22,1	20,7	18,5	14
10	24,5	24,5	24	23,1	22,1	20,7	18,5	14
11	24,2	24,2	23,6	22,7	21,7	20,2	17,9	12,8
12	24,3	24,3	23,7	22,8	21,8	20,3	18	12,9
13	25,9	25,9	25,6	25	24,4	23,7	22,7	21
14	25,3	25,3	24,9	24,3	23,6	22,8	21,7	19,8
15	26,1	26,1	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,9
16	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,8	22,8	21



SPL 8	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,3	24,6	23,9	22,9	21,6	19,3
2	25,2	25,2	24,7	23,9	23,1	21,9	20,2	17,7
3	24,9	24,9	24,4	23,5	22,6	21,2	19,2	15,2
4	24,3	24,3	23,8	22,8	21,8	20,4	18,1	13,3
5	24,2	24,2	23,6	22,7	21,7	20,2	17,9	12,9
6	24	24	23,5	22,5	21,5	19,9	17,6	12,4
7	25,1	25,1	24,6	23,9	23,1	21,9	20,3	17,2
8	25,2	25,2	24,7	24	23,2	22,1	20,4	17,4
9	24,5	24,5	24	23,1	22,1	20,6	18,4	13,8
10	24,5	24,5	23,9	23	22,1	20,7	18,5	14
11	24	24	23,5	22,6	21,5	20	17,6	12,3
12	24,1	24,1	23,6	22,6	21,6	20	17,6	12,5
13	26,1	26,1	25,7	25,1	24,6	23,8	22,8	21,1
14	25,4	25,4	25	24,4	23,8	23	21,9	20
15	26,3	26,3	25,9	25,3	24,7	23,9	22,9	21
16	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,8	22,8	21

SPL 10	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,3	24,6	23,9	23	21,6	19,4
2	25,3	25,3	24,8	24	23,2	22	20,4	17,2
3	24,9	24,9	24,4	23,5	22,6	21,2	19,3	15,3
4	24,4	24,4	23,9	23	22	20,5	18,3	13,5
5	24,2	24,2	23,7	22,7	21,7	20,2	17,9	12,9
6	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,8	17,5	12,4
7	25,2	25,2	24,7	24	23,2	22	20,3	17,2
8	25,2	25,2	24,7	24	23,2	22,1	20,4	17,4
9	24,6	24,6	24	23,1	22,2	20,8	18,6	14,1
10	24,6	24,6	24,1	23,2	22,2	20,8	18,6	14,1
11	24,1	24,1	23,6	22,7	21,6	20,1	17,7	12,5
12	24,2	24,2	23,7	22,7	21,7	20,1	17,7	12,5
13	25,8	25,8	25,4	24,9	24,3	23,6	22,6	20,9
14	25,2	25,2	24,8	24,3	23,7	22,9	21,9	20,1
15	26	26	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	20,9
16	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	20,8



SPL 12	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,6	25,2	24,5	23,8	22,9	21,5	19,3
2	25,1	25,1	24,6	23,8	23	21,8	20,1	16,9
3	24,8	24,8	24,2	23,4	22,4	21	19	15,1
4	24,4	24,4	23,8	22,9	21,9	20,4	18,1	13,1
5	24,2	24,2	23,7	22,7	21,7	20,2	17,9	12,8
6	24	24	23,4	22,5	21,4	19,8	17,5	12,2
7	25	25	24,6	23,8	23	21,9	20,2	17,2
8	25,1	25,1	24,7	23,9	23,1	22	20,4	17,4
9	24,5	24,5	23,9	23	22,1	20,6	18,4	13,9
10	24,4	24,4	23,9	23	22	20,5	18,3	13,6
11	24,2	24,2	23,6	22,7	21,7	20,1	17,7	12,5
12	24,3	24,3	23,7	22,8	21,7	20,2	17,8	12,5
13	25,8	25,8	25,4	24,9	24,3	23,6	22,7	20,9
14	25,4	25,4	25	24,5	23,9	23,2	22,2	20,4
15	26,1	26,1	25,7	25,2	24,6	23,8	22,8	21
16	26	26	25,7	25,1	24,5	23,8	22,7	20,9

SPL 16	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,7	25,7	25,3	24,6	23,9	22,9	21,6	19,3
2	25,2	25,2	24,7	23,9	23	21,8	20,2	17
3	24,8	24,8	24,2	23,4	22,4	21	19	15,1
4	24,4	24,4	23,8	22,9	21,9	20,4	18,1	13,2
5	24,3	24,3	23,7	22,8	21,7	20,2	17,9	12,8
6	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,8	17,4	12,2
7	25	25,1	24,6	23,8	23	21,9	20,3	17,2
8	25,1	25,1	24,7	23,9	23,1	22	20,4	17,4
9	24,4	24,4	23,9	23	22	20,5	18,3	13,7
10	24,5	24,5	23,9	23	22,1	20,6	18,4	13,9
11	24,1	24,1	23,6	22,6	21,6	20,1	17,7	12,4
12	24,2	24,2	23,7	22,7	21,7	20,1	17,7	12,4
13	25,8	25,8	25,4	24,8	24,3	23,5	22,6	20,8
14	25,5	25,5	25,1	24,6	24	23,3	22,3	20,5
15	26,1	26,1	25,7	25,2	24,6	23,8	22,7	20,9
16	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,7	22,7	20,8

SPL 20	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,5	25,5	25,1	24,4	23,7	22,7	21,4	19,2
2	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,6	20	16,9
3	24,6	24,6	24	23,2	22,2	20,8	18,8	14,9
4	24,2	24,2	23,6	22,6	21,6	20,1	17,8	12,9
5	24	24,1	23,5	22,5	21,5	19,9	17,6	12,6
6	23,8	23,8	23,2	22,3	21,2	19,6	17,3	12
7	24,8	24,8	24,4	23,6	22,8	21,6	20,1	17,1
8	24,9	24,9	24,5	23,7	22,9	21,8	20,3	17,3
9	24,3	24,4	23,8	22,9	21,9	20,4	18,3	13,7
10	24,2	24,2	23,7	22,8	21,8	20,3	18,2	13,7
11	23,9	23,9	23,4	22,4	21,4	19,8	17,4	12,2
12	24,1	24,1	23,5	22,5	21,5	19,9	17,5	12,2
13	25,9	25,9	25,6	25	24,4	23,6	22,7	20,9
14	25,8	25,8	25,4	24,9	24,3	23,6	22,6	20,9
15	26,1	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,9
16	26,1	26,1	25,7	25,2	24,6	23,7	22,7	20,9

SPL 24	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,6	25,6	25,1	24,4	23,7	22,7	21,4	19,2
2	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,5	20	16,9
3	24,5	24,5	24	23,1	22,2	20,7	18,8	14,9
4	24,1	24,1	23,6	22,7	21,7	20,1	18	13,1
5	24	24	23,5	22,5	21,5	20	17,7	12,8
6	23,8	23,9	23,3	22,3	21,3	19,7	17,3	12,2
7	24,8	24,8	24,3	23,6	22,8	21,6	20	17
8	24,9	24,9	24,4	23,7	22,9	21,7	20,1	17,2
9	24,3	24,3	23,8	22,9	21,9	20,4	18,3	13,9
10	24,2	24,2	23,7	22,7	21,8	20,3	18,2	13,7
11	24	24	23,4	22,5	21,5	19,9	17,5	12,4
12	24,1	24,1	23,5	22,6	21,5	20	17,7	12,6
13	25,9	25,9	25,5	24,9	24,3	23,5	22,6	20,8
14	25,8	25,8	25,4	24,9	24,3	23,5	22,6	20,9
15	26,1	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,9
16	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,9



SPL 32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,5	25,5	25,1	24,4	23,7	22,6	21,4	19,2
2	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,5	19,9	16,8
3	24,5	24,5	24	23,1	22,2	20,7	18,8	15
4	24,1	24	23,5	22,6	21,6	20	17,8	13,1
5	24	24	23,4	22,5	21,5	19,8	17,7	12,8
6	23,8	23,8	23,2	22,2	21,2	19,5	17,2	12
7	24,8	24,8	24,3	23,5	22,7	21,5	19,9	17
8	24,9	24,9	24,4	23,7	22,9	21,7	20,2	17,3
9	24,2	24,2	23,6	22,7	21,8	20,3	18,2	13,8
10	24,1	24,2	23,6	22,7	21,8	20,2	18,1	13,7
11	23,9	23,9	23,3	22,4	21,3	19,7	17,4	12,2
12	24	24	23,4	22,5	21,4	19,8	17,4	12,3
13	25,9	25,9	25,5	24,9	24,4	23,4	22,6	20,9
14	26	26	25,6	25,1	24,6	23,7	23	21,4
15	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,7	22,7	20,9
16	26,1	26,1	25,8	25,2	24,6	23,6	22,7	20,9

SPL 72	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,5	25,5	25,1	24,4	23,7	22,6	21,4	19,2
2	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,5	19,9	16,9
3	24,5	24,5	23,9	23,1	22,2	20,7	18,8	15
4	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,8	17,6	12,8
5	23,8	23,8	23,3	22,3	21,3	19,7	17,4	12,6
6	23,6	23,6	23	22,1	21	19,4	17	11,8
7	24,9	24,9	24,4	23,6	22,9	21,6	20,1	17,1
8	24,9	24,9	24,4	23,7	22,9	21,7	20,1	17,2
9	24	24,1	23,5	22,6	21,6	20,1	17,9	13,4
10	24	24	23,5	22,5	21,6	20	17,9	13,4
11	23,7	23,7	23,2	22,2	21,2	19,5	17,2	12
12	23,9	23,9	23,3	22,3	21,3	19,6	17,2	12
13	25,9	25,9	25,5	24,9	24,4	23,3	22,4	20,7
14	26,7	26,7	26,3	25,9	25,4	24,6	23,9	22,7
15	26,1	26,1	25,7	25,1	24,5	23,6	22,6	20,8
16	26,1	26,2	25,8	25,2	24,5	23,6	22,6	20,8

SPL 120	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25,5	25,5	25	24,3	23,6	22,6	21,3	19,1
2	24,9	24,9	24,4	23,6	22,8	21,5	19,9	16,8
3	24,4	24,4	23,8	23	22,1	20,5	18,6	14,7
4	23,9	23,9	23,3	22,4	21,4	19,8	17,6	12,8
5	23,8	23,8	23,2	22,3	21,3	19,6	17,4	12,4
6	23,6	23,6	23,1	22,1	21	19,4	17	11,7
7	24,9	24,9	24,4	23,6	22,9	21,6	20,1	17,1
8	24,9	24,9	24,4	23,7	22,9	21,7	20,2	17,2
9	24	24	23,4	22,5	21,5	20	17,8	13,3
10	24	24	23,5	22,6	21,6	20,1	17,9	13,5
11	23,7	23,7	23,2	22,2	21,2	19,5	17,2	11,9
12	23,8	23,9	23,3	22,3	21,3	19,6	17,3	12,1
13	25,9	25,9	25,5	24,9	24,3	23,3	22,4	20,7
14	27,3	27,3	27	26,6	26,2	25,6	25	24
15	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,6	22,7	20,9
16	26,2	26,2	25,8	25,2	24,6	23,6	22,6	20,9

Notas: Arriba aparecen las tablas correspondientes a los datos medidos y simulados del SPL de la ermita San Pedro de Etxano. Los parámetros están en decibelios. El nivel de presión sonora que aparece en las tablas se corresponde con el parámetro G. El eje vertical corresponde a las 16 posiciones de micrófono. En el eje horizontal aparecen las distintas bandas de frecuencia en las que se han tomado los datos expresadas en hercios. La celda superior izquierda indica que la tabla expresa el SPL para una determinada subdivisión de las superficies curvas y si se ha utilizado la opción de “fractional” o no, por ejemplo: “SPL 8 F” indica que es la tabla correspondiente al SPL para 8 subdivisiones de las superficies curvas utilizando “fractional”; y “SPL 24” indica que es la tabla correspondiente al SPL para 24 subdivisiones de las superficies curvas sin utilizar “fractional”.

9.9.- Etxano Mediciones:

1									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	38,4	43,7	52,7	60,9	46,9	50,9	45	36,2	15,6
edr[dB]	46	51	60,1	68,9	56,5	61,2	56,6	50,1	31,6
EDT[s]	6,67	5,92	5,55	5,28	4,62	3,86	2,22	0,99	0,73
T30[s]	7,72	7,48	6,82	5,96	5,07	4,08	2,83	1,45	1,1
corr	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-998	-997
T20[s]	7,68	7,77	6,95	5,88	5,01	3,95	2,72	1,34	1,04
corr	-999	-998	-999	-1000	-1000	-1000	-999	-999	-996
Tc[ms]	391	378	356	301	274	200	117	49	30
C80[dB]	-4,1	-3,9	-4,6	-2,9	-2,5	0,3	1,06	5,08	8,08
D50[%]	25	21	16	26	27	40	49	68	82
G[dB]	33,9	34,7	34	30,3	22,03	19,02	15	10	85,7
r[m]	2,12								

2									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	37	42,3	51,5	59,6	45,1	49,5	43,3	33,9	12,02
edr[dB]	45,1	50,5	58,7	68,1	54,6	60,2	54,8	47,7	28,6
EDT[s]	5,64	6,5	5,55	5,46	4,69	3,92	2,4	1,11	0,83
T30[s]	7,97	7,6	6,84	6	5,19	4	2,83	1,48	1,11
corr	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-999	-999
T20[s]	7,56	7,6	6,72	6,01	5,07	3,95	2,76	1,42	1,11
corr	-998	-999	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-999	-998
Tc[ms]	387	457	422	381	332	278	166	77	59
C80[dB]	-4,2	-7,5	-6,5	-5,4	-5,3	-5,1	-1,7	3,04	4,09
D50[%]	20	6	9	13	14	16	27	51	60
G[dB]	33,7	34,7	34	29,8	21,06	18,01	13,05	8	82,6
r[m]	0,27								

3									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	35,9	42,3	51,1	59,5	45,1	49,4	42,2	32,3	11,03
edr[dB]	433	50,1	59,1	67,5	54,4	59,7	53,9	46,4	27,3
EDT[s]	7,13	6,45	6,2	5,36	5,09	4,04	2,49	1,3	0,91
T30[s]	7,74	7,92	6,84	5,99	5,19	4,15	2,95	1,53	1,18
corr	-999	-997	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-999
T20[s]	7,39	7,05	6,64	6,17	5,18	4,12	2,83	1,42	1,18
corr	-999	-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999
Tc[ms]	507	527	458	361	370	291	182	84	52
C80[dB]	-8,2	-9,7	-7,6	-5,3	-5,9	-4,9	-2,7	2,02	5,05
D50[%]	26	5	6	15	12	16	24	50	67
G[dB]	31	34	32,6	29,2	20,07	17,04	12,04	6,02	81,4
r[m]	6,75								



4									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	34,1	41,3	51	57,7	43,9	48,3	41,2	30,8	8,05
edr[dB]	43,4	49,4	58,3	66,5	53,3	58,7	52,7	45	24,8
EDT[s]	7,38	6,83	6,59	5,56	4,84	4,14	2,8	1,39	1,08
T30[s]	7,75	7,61	6,85	6,03	5,26	4,17	2,97	1,58	1,2
corr	-998	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-1000
T20[s]	7,49	7,53	6,52	6,05	5,23	4,1	2,84	1,48	1,2
corr	-996	-999	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000
Tc[ms]	594	554	476	455	416	341	233	124	95
C80[dB]	-11,6	-11	-9	-10,3	-9,9	-7,6	-5,2	-1,2	1,02
D50[%]	1	2	2	2	3	6	9	20	34
G[dB]	31,5	33,2	32,8	28,6	20,05	16,09	11,05	4,08	79
r[m]	0,26								

5									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	35,6	40,7	50,3	57,9	44,2	48,3	40,7	29,9	7,04
edr[dB]	43,1	48,4	59,6	66,2	53,8	58,6	52,3	44,1	23,08
EDT[s]	6,35	6,92	6	5,97	4,98	3,99	2,81	1,46	1,13
T30[s]	7,9	7,47	6,89	5,91	5,23	4,21	2,95	1,58	1,16
corr	-1000	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-1000
T20[s]	7,87	7,51	6,95	5,88	5,26	4,18	2,91	1,47	1,16
corr	-999	-999	-1000	-999	-1000	-1000	-999	-1000	-1000
Tc[ms]	510	575	443	439	386	322	219	109	81
C80[dB]	-10,3	-11,1	-10,3	-7,3	-7,6	-7	-4,5	0,01	1,09
D50[%]	2	6	5	6	6	8	16	34	45
G[dB]	30,1	32,6	32,5	27,9	20	16,05	11	3,08	77,8
r[m]	11,78								

6									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	32	41	48,3	57,3	43,3	47,9	40,4	28,7	6,01
edr[dB]	41,6	48,2	57,7	65,9	53,1	58,2	52,2	43,2	22
EDT[s]	7,27	7,97	6,55	6,03	5,29	4,13	2,89	1,65	1,34
T30[s]	7,5	7,11	6,85	5,97	5,26	4,16	2,98	1,61	1,28
corr	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-1000
T20[s]	7,28	6,97	6,73	5,83	5,18	4,18	2,9	1,54	1,28
corr	-999	-999	-1000	-999	-1000	-1000	-1000	-999	-1000
Tc[ms]	571	632	543	499	456	374	271	159	129
C80[dB]	-13	-15,3	-15	-17,7	-15,5	-12,7	-10	-4,9	-2,5
D50[%]	1	0	1	0	1	0	1	6	11
G[dB]	29,2	33,5	32	28,1	20,01	16,07	10,07	2,09	76,6
r[m]	0,27								

7									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	33,1	42,7	50,5	58,9	44,9	50	43,7	34,2	12,07
edr[dB]	41,1	49,4	58,7	67,6	54,1	59,9	54,9	48,1	29,2
EDT[s]	7,44	7,17	6,28	6,06	5,2	3,97	2,42	1,15	0,84
T30[s]	8,58	7,33	7,04	6,16	5,4	4,38	2,94	1,52	1,1
corr	-999	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-998	-999
T20[s]	8,53	7,54	6,98	6,09	5,37	4,26	2,86	1,37	1,1
corr	-998	-998	-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-999
Tc[ms]	466	452	445	378	364	254	152	72	49
C80[dB]	-4,7	-4,6	-5,6	-4,8	-5,2	-2,7	0,05	3,05	5,09
D50[%]	27	13	16	19	15	25	35	55	67
G[dB]	29	34	32,5	29,4	21,03	18,05	14	8,01	83,1
r[m]	3,61								

8									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	32,6	42,4	49	58,4	44,4	49,9	43,7	33,8	12,02
edr[dB]	40,7	48,7	56,8	66,7	53,6	60,2	55,1	47,6	28,3
EDT[s]	6,6	7,53	7,13	6,08	5,26	3,91	2,42	1,11	0,85
T30[s]	8,71	7,49	6,95	6,26	5,37	4,27	3,01	1,53	1,15
corr	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-997	-999
T20[s]	8,68	7,18	6,76	6,27	5,37	4,33	2,9	1,37	1,15
corr	-997	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-999	-1000	-998
Tc[ms]	447	512	505	381	352	277	164	83	61
C80[dB]	-5,9	-6,4	-6	-3,7	-4,5	-4	0,09	2,04	4,08
D50[%]	22	7	14	17	16	18	28	46	57
G[dB]	30,2	34,9	32,4	29,6	21,09	18,09	14,01	8	82,7
r[m]	0,27								

9									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	30,5	40,8	48,9	54,1	43,5	47,9	41,3	31,4	9,07
edr[dB]	38,9	48,1	56,3	62,7	52,9	58	52,3	45,3	25,6
EDT[s]	7,64	7,93	6,74	6,44	5,7	4,46	2,87	1,35	1,02
T30[s]	8,79	7,52	6,91	6,22	5,46	4,35	3,04	1,64	1,23
corr	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-998	-999
T20[s]	8,32	7,68	7,03	6,37	5,49	4,24	2,99	1,52	1,23
corr	-999	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-999
Tc[ms]	646	629	538	482	429	349	213	96	65
C80[dB]	-12,4	-12,1	-9,9	-9,7	-9,2	-7,9	-3,9	1,02	3,06
D50[%]	5	3	6	6	7	10	21	42	59
G[dB]	27,9	33,1	31,2	27,6	20	16,08	11,06	5,04	80,1
r[m]	8,18								



10									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	31	39,8	48,1	53,7	43	47,6	41,4	30,5	8,03
edr[dB]	39,6	46,1	56,2	62	52,7	57,3	52,6	44,7	24,3
EDT[s]	7,3	7,06	6,7	6,24	5,4	4,26	2,78	1,46	1,12
T30[s]	7,92	7,63	6,91	6,37	5,41	4,41	3,05	1,62	1,26
corr	-999	-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-999
T20[s]	7,64	7,3	6,87	6,4	5,32	4,35	2,97	1,5	1,26
corr	-999	-996	-999	-999	-1000	-1000	-999	-1000	-999
Tc[ms]	617	629	572	514	439	343	233	129	100
C80[dB]	-11,5	-16,7	-12,8	-11,3	-11,6	-7,7	-5,4	-1,3	0,06
D50[%]	5	1	1	3	3	7	9	19	29
G[dB]	28,7	33	31,6	28	20,09	17,04	12,01	4,08	78,9
r[m]	0,26								

11									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	31,2	40,6	48,6	56,1	43,8	47,9	40,7	29,2	7
edr[dB]	39	47,7	56,8	64,8	52,9	57,7	52	43,3	23,02
EDT[s]	6,75	8,42	6,84	6,29	5,34	4,34	2,84	1,5	1,13
T30[s]	8,14	7,73	6,95	6,27	5,39	4,4	3,08	1,69	1,25
corr	-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-999
T20[s]	7,56	7,91	7,13	6,32	5,36	4,33	2,98	1,56	1,25
corr	-998	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999
Tc[ms]	587	707	554	506	430	346	230	113	82
C80[dB]	-7,4	-14,8	-11,9	-12,7	-10	-7,5	-5,3	0,05	1,08
D50[%]	9	3	3	3	5	8	13	33	46
G[dB]	27,8	32,1	30,8	27	20	16,05	10,09	3,03	77,5
r[m]	13,29								

12									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	30,8	39,4	48,1	56,3	42,9	48,1	40,4	28,8	6,06
edr[dB]	38,2	47,3	56	65,1	52	58,3	51,3	43,1	23,01
EDT[s]	8,43	8,79	7,14	6,05	5,49	4,43	3,04	1,62	1,28
T30[s]	8,03	7,56	6,95	6,25	5,53	4,33	3,06	1,66	1,15
corr	-998	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-999
T20[s]	7,39	7,72	6,95	6,31	5,44	4,21	2,96	1,54	1,15
corr	-998	-998	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999
Tc[ms]	632	736	540	517	469	380	277	159	124
C80[dB]	-11,3	-17,7	-16,7	-15,5	-14,1	-12,8	-9,7	-4,9	-1,8
D50[%]	1	1	0	0	1	1	2	6	12
G[dB]	28,1	32,5	31,5	27,7	20,03	17	10,08	3,01	77,1
r[m]	0,26								

13									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	40,4	46,4	53,1	60,6	46,5	51,9	47	39,5	19,08
edr[dB]	49,9	54	60,7	68,4	56	62	58,3	53,5	36
EDT[s]	7,19	5,22	4,94	5,29	4,75	3,63	2,02	0,73	0,45
T30[s]	7,54	7,76	7,1	6,22	5,52	4,27	2,9	1,42	1,03
corr	-999	-998	-999	-1000	-1000	-1000	-999	-996	-994
T20[s]	7,45	8,04	6,9	6,16	5,45	4,16	2,73	1,26	0,88
corr	-999	-995	-999	-1000	-1000	-1000	-999	-995	-992
Tc[ms]	410	303	279	254	256	166	81	27	13
C80[dB]	-2,3	0,07	-1,9	0,04	-1	1,01	4,02	9,05	13,03
D50[%]	34	41	36	42	37	48	65	84	93
G[dB]	37,6	38,1	35	31,4	22,09	20,07	17,02	13,05	90,3
r[m]	1,88								

14									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	38,6	43,4	51,1	60,3	46,6	50	45,8	38,3	17
edr[dB]	45,6	50,5	58,8	68,6	55,4	60,2	56,7	52,4	33,4
EDT[s]	6,58	7,29	5,9	5,26	5,16	3,96	2,15	0,64	0,43
T30[s]	7,72	7,7	6,79	6,18	5,36	4,34	2,98	1,46	1,05
corr	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-997	-998
T20[s]	7,5	7,7	7,02	6,25	5,35	4,23	2,88	1,29	1
corr	-999	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-999	-998	-998
Tc[ms]	334	352	314	244	230	232	92	30	21
C80[dB]	0,07	-1,3	-1,9	0,01	0,05	-1,8	3,06	9,04	11,02
D50[%]	39	38	34	46	49	33	62	84	89
G[dB]	35,6	36,3	34,5	31,9	24	19,04	16,03	12,06	87,6
r[m]	2,88								

15									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	36,9	43	51,4	59,7	46,4	50,9	45,8	37,6	16,09
edr[dB]	43,7	50,5	59,4	67,7	55,7	61,2	57,1	51,8	32,7
EDT[s]	6,91	6,92	6,54	5,52	5	3,85	2,17	0,87	0,63
T30[s]	7,87	7,42	7,02	6,16	5,4	4,32	2,95	1,47	1,11
corr	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-998	-996
T20[s]	7,56	7,54	6,98	5,97	5,42	4,33	2,83	1,34	1,01
corr	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-997	-994
Tc[ms]	441	359	361	343	268	212	103	36	22
C80[dB]	-4,6	-1,7	-2,5	-3,8	-1,2	0,06	2,09	7,08	10,04
D50[%]	26	33	24	19	34	36	55	78	86
G[dB]	32,3	35,2	33,9	30,3	22,08	19,07	16	11,06	87,3
r[m]	2,05								



16									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
snr[dB]	35,4	43,1	50,6	58,6	45,6	51,6	45,6	36,3	14,04
edr[dB]	43,3	51,7	58,8	66,6	54,6	61,9	56,9	50,1	30,7
EDT[s]	6,28	5,76	6,47	5,65	4,73	3,66	2,01	0,87	0,67
T30[s]	7,86	7,55	6,74	6,13	5,45	4,29	3	1,48	1,09
corr	-999	-999	-1000	-1000	-1000	-1000	-999	-997	-998
T20[s]	7,61	7,46	6,82	6,12	5,39	4,27	2,87	1,34	1,06
corr	-999	-999	-999	-999	-1000	-1000	-999	-997	-996
Tc[ms]	396	332	365	340	278	187	115	56	44
C80[dB]	-4,2	-1,8	-3	-3,2	-2	0,03	1,09	5,05	7,03
D50[%]	23	27	22	22	30	42	49	63	72
G[dB]	32,1	36,6	34,2	30,3	23,02	20,07	16	10,06	85
r[m]	0,27								



10. ANEXO II: Códigos editor Odeón

10.1.- SAN PEDRO DE ETXANO

###

Const NumeroSuperficiesF x

Const NumeroSuperficies y

Pt 1 0 0 0

Pt 2 5.75 0 0

Pt 3 5.75 8.13 0

Pt 4 6.63 8.13 0

Pt 5 6.63 9.33 0

Pt 6 5.75 9.33 0

Pt 7 5.75 10.54 0

Pt 8 5.02 10.54 0

Pt 9 5.02 11.37 0

Pt 10 5.75 11.37 0

Pt 11 5.75 15.1 0

Pt 12 5.02 15.1 0

Pt 13 5.02 15.9 0

Pt 14 5.23 15.9 0

Pt 15 5.23 18.1 0

Pt 16 0 2.67 0

Pt 17 -0.88 2.67 0

Pt 18 -0.88 4.48 0

Pt 19 0 4.48 0

Pt 20 0 10.54 0

Pt 21 0.73 10.54 0

Pt 22 0.73 11.37 0

Pt 23 0 11.37 0

Pt 24 0 15.1 0

Pt 25 0.73 15.1 0

Pt 26 0.73 15.9 0

Pt 27 0.52 15.9 0

Pt 28 0.52 18.1 0

Pt 29 -0.88 4.25 0

Pt 30 -0.88 2.9 0

Pt 31 6.63 8.28 -0.34

Pt 32 6.63 9.18 -0.34

Pt 33 0.35 0.35 0

Pt 34 5.4 0.35 0



Pt 35 5.4 10.19 0
Pt 36 4.62 10.19 0
Pt 37 4.62 11.72 0
Pt 38 5.4 11.72 0
Pt 39 5.4 14.75 0
Pt 40 5.02 14.75 0
Pt 41 0.35 10.19 0
Pt 42 1.13 10.19 0
Pt 43 1.13 11.72 0
Pt 44 0.35 11.72 0
Pt 45 0.35 14.75 0
Pt 46 0.73 14.75 0
Pt 47 5.4 8.13 0
Pt 48 5.4 9.33 0
Pt 49 0.35 0.35 -0.34
Pt 50 5.4 0.35 -0.34
Pt 51 5.4 10.19 -0.34
Pt 52 4.62 10.19 -0.34
Pt 53 4.62 11.72 -0.34
Pt 54 5.4 11.72 -0.34
Pt 55 5.4 14.75 -0.34
Pt 56 5.02 14.75 -0.34
Pt 57 0.35 10.19 -0.34
Pt 58 1.13 10.19 -0.34
Pt 59 1.13 11.72 -0.34
Pt 60 0.35 11.72 -0.34
Pt 61 0.35 14.75 -0.34
Pt 62 0.73 14.75 -0.34
Pt 63 5.4 8.13 -0.34
Pt 64 5.4 9.33 -0.34
Pt 65 0.73 15.1 -0.34
Pt 66 5.02 15.1 -0.34
Pt 67 6.63 8.13 -0.34
Pt 68 6.63 9.33 -0.34
Pt 69 0 0 4.9
Pt 70 5.91 0 4.9
pt 71 5.91 4.93 4.9
Pt 72 5.56 4.93 4.9
Pt 73 5.56 5.55 4.9
Pt 74 5.91 5.55 4.9
Pt 75 5.91 10.54 4.9
Pt 76 5.18 10.54 4.9
Pt 77 5.18 10.64 4.9
Pt 78 4.78 10.54 4.9
Pt 79 4.78 11.37 4.9



Pt 80 5.18 11.27 4.9
Pt 81 5.18 11.37 4.9
Pt 82 5.91 11.37 4.9
Pt 83 5.91 15.1 4.9
Pt 84 5.18 15.1 4.9
Pt 85 5.18 15.2 4.9
Pt 86 4.78 15.1 4.9
Pt 87 4.78 15.9 4.9
Pt 88 5.18 15.8 4.9
Pt 89 5.18 15.9 4.9
Pt 90 5.23 15.9 4.9
Pt 91 0.52 15.9 4.9
Pt 92 0.73 15.9 4.9
Pt 93 0.73 15.8 4.9
Pt 94 1.13 15.9 4.9
Pt 95 1.13 15.1 4.9
Pt 96 0.73 15.2 4.9
Pt 97 0.73 15.1 4.9
Pt 98 0 15.1 4.9
Pt 99 0 11.37 4.9
Pt 100 0.73 11.37 4.9
Pt 101 0.73 11.27 4.9
Pt 102 1.13 11.37 4.9
Pt 103 1.13 10.54 4.9
Pt 104 0.73 10.64 4.9
Pt 105 0.73 10.54 4.9
Pt 106 0 10.54 4.9
Pt 107 0 5.55 4.9
Pt 108 0.35 5.55 4.9
Pt 109 0.35 4.93 4.9
Pt 110 0 4.93 4.9
Pt 111 5.23 18.1 4.9
Pt 112 0.52 18.1 4.9
Pt 113 5.815306122 9.33 2
Pt 114 6.63 9.33 2
Pt 115 6.63 8.13 2
Pt 116 5.815306122 8.13 2
Pt 117 5.828367346 8.73 2.4
Pt 118 6.63 8.73 2.4
Pt 119 6.63 9.18 1.9
Pt 120 6.63 8.28 1.9
Pt 121 0 2.67 2.7
Pt 122 0 4.48 2.7
Pt 123 -0.88 4.48 2.7
Pt 124 -0.88 2.67 2.7



Pt 125 0 3.58 3.5
Pt 126 -0.88 3.58 3.5
Pt 127 -0.88 2.9 2.55
Pt 128 -0.88 4.25 2.55
Pt 129 0.35 5.24 0
Pt 130 0.35 5.24 4.9
Pt 131 0 5.55 0
Pt 132 0 4.93 0
Pt 133 5.4 5.24 0
Pt 134 5.56 5.24 4.9
Pt 135 5.75 5.55 0
Pt 136 5.75 4.93 0
Pt 137 1.13 10.955 0
Pt 138 1.13 10.955 4.9
Pt 139 4.62 10.955 0
Pt 140 4.78 10.955 4.9
Pt 141 1.13 15.5 0
Pt 142 1.13 15.5 4.9
Pt 143 4.62 15.5 0
Pt 144 4.78 15.5 4.9
Surf 1 suelo1
49 50 63 67 68 64 51 52 53 54 55 56 66 65 62 61 60 59 58 57
Surf 2 suelo2
12 143 13 14 15 28 27 26 141 25
Surf 3 pared1
33 34 50 49
Surf 4 pared2
34 47 63 50
Surf 5 pared3
33 41 57 49
Surf 6 pared4
41 42 58 57
Surf 7 pared5
42 43 59 58
Surf 8 pared6
43 44 60 59
Surf 9 pared7
44 45 61 60
Surf 10 pared8
45 46 62 61
Surf 11 pared9
46 25 65 62
Surf 12 pared10
25 12 66 65
Surf 13 pared11



12 66 56 40
Surf 14 pared12
40 39 55 56
Surf 15 pared13
39 38 54 55
Surf 16 pared14
38 37 53 54
Surf 17 pared15
37 36 52 53
Surf 18 pared16
36 35 51 52
Surf 19 pared17
35 48 64 51
Surf 20 pared18
3 47 133 135
Surf 21 pared19
143 144 84 12
Surf 22 pared20
1 2 70 69
Surf 23 pared21
1 69 110 132 19 122 125 121 16
Surf 24 pared22
16 17 124 121
Surf 25 pared23
19 18 123 122
Surf 26 pared24
121 124 126 125
Surf 27 pared25
123 126 125 122
Surf 28 pared26
17 30 127 128 29 18 123 126 124
Surf 29 pared27
3 116 117 113 6 7 75 74 135
Surf 30 pared28
3 47 63 67 115 116
Surf 31 pared29
6 48 64 68 114 113
Surf 32 pared30
113 114 118 117
Surf 33 pared31
115 116 117 118
Surf 34 pared32
67 31 120 119 32 68 114 118 115
Surf 35 pared33
20 21 105 106



Surf 36 pared34
41 42 137 21 20 131 129
Surf 37 pared35
22 23 99 100
Surf 38 pared36
23 24 98 99
Surf 39 pared37
24 25 97 98
Surf 40 pared38
8 139 36 35 48 6 7
Surf 41 pared39
26 27 91 92
Surf 42 pared40
27 28 112 91
Surf 43 pared41
7 8 76 75
Surf 44 pared42
139 9 10 11 12 40 39 38 37
Surf 45 pared43
9 10 82 81
Surf 46 pared44
10 11 83 82
Surf 47 pared45
11 12 84 83
Surf 48 pared46
137 43 44 45 46 25 24 23 22
Surf 49 pared47
13 14 90 89
Surf 50 pared48
14 15 111 90
Surf 51 pared49
71 72 134
Surf 52 pared50
76 78 140
Surf 53 pared51
142 92 94
Surf 54 pared52
97 95 142
Surf 55 pared53
100 102 138
Surf 56 pared54
107 108 130
Surf 57 pared55
106 20 131 107
Surf 58 pared56



107 131 129 130
Surf 59 pared57
132 129 130 110
Surf 60 pared58
110 109 130
Surf 61 pared59
134 133 136 71
Surf 62 pared60
133 134 74 135
Surf 63 pared61
73 74 134
Surf 64 pared62
70 71 136 2
Surf 65 pared63
1 2 136 133 34 33 129 132 19 18 17 16
Surf 66 pared64
138 103 105
Surf 67 pared65
137 138 105 21
Surf 68 pared66
137 138 100 22
Surf 69 pared67
140 79 81
Surf 70 pared68
139 140 81 9
Surf 71 pared69
139 140 76 8
Surf 72 pared70
144 86 84
Surf 73 pared71
144 87 89
Surf 74 pared72
141 142 97 25
Surf 75 pared73
141 142 92 26
Surf 76 pared74
143 144 89 13
MTranslate 2.875 18.1 0
Cylinder 1000 NumeroSuperficiesF 2.355 180 4.9 B fondo
MTranslate 0 0 4.9
Dome 2000 NumeroSuperficiesF 2.355 180 techofondo
MReset
MRotateX 90
MTranslate 2.875 18.1 4.9
Cylinder 30000 NumeroSuperficies 2.355 180 2.2 N techo1



Plist0 PListB
MReset
MRotateX 90
MRotateZ 180
MTranslate 2.955 15.1 4.9
Cylinder 40000 NumeroSuperficies 1.825 180 0.8 N techo2
PList1 PListB
Surf 77 pared75
PList0 PList1
ResetPList0
ResetPList1
Plist0 PListA
MReset
MRotateX 90
MTranslate 2.955 15.1 4.9
Cylinder 50000 NumeroSuperficies 2.955 180 3.73 N techo3
PList1 PListA
Surf 78 pared76
PList0 PList1
ResetPList0
ResetPList1
Plist0 PListB
MReset
MRotateX 90
MRotateZ 180
MTranslate 2.955 10.54 4.9
Cylinder 60000 NumeroSuperficies 1.825 180 0.83 N techo4
PList1 PListB
Surf 79 pared77
PList0 PList1
ResetPList0
ResetPList1
Plist0 PListA
MReset
MRotateX 90
MTranslate 2.955 10.54 4.9
Cylinder 70000 NumeroSuperficies 2.955 180 4.99 N techo5
PList1 PListA
Surf 80 pared78
PList0 PList1
ResetPList0
ResetPList1
Plist0 PListB
MReset
MRotateX 90



MRotateZ 180
MTranslate 2.955 4.93 4.9
Cylinder 80000 NumeroSuperficies 2.605 180 0.62 N techo6
PList1 PListB
Surf 81 pared79
PList0 PList1
ResetPList0
ResetPList1
Plist0 PListA
MReset
MRotateX 90
MTranslate 2.955 4.93 4.9
Cylinder 90000 NumeroSuperficies 2.955 180 4.93 T techo7
PList1 PListA
Surf 82 pared80
PList0 PList1
MReset
Surf 83 puerta1
127 128 29 30
Surf 84 puerta2
119 120 31 32
####

10.2.- CILINDRO

Cylinder 1 120 10.8 360 21.6 TB cilindro10120
Pt 301 10.8 0 10.8
Pt 302 0 10.8 10.8
Pt 303 -10.8 0 10.8
Pt 304 0 -10.8 10.8
Surf 300 suelo
301 302 303 304
####



10.3.- ESFERA

###

Dome2 1 120 10.8 5.4 360 esferaf5120a

Dome2 5000 120 10.8 -5.4 360 esferaf5120b

Pt 10001 5.4 0 0

Pt 10002 0 5.4 0

Pt 10003 -5.4 0 0

Pt 10004 0 -5.4 0

Surf 10000 suelo

10001 10002 10003 10004

###

10.4.- SEMICILINDRO

###

Cylinder 1 3 5.4 180 10.8 TB semicilindro56

Pt 501 5.4 0 5.4

Pt 502 0 5.4 5.4

Pt 503 -5.4 0 5.4

Pt 504 -5.4 -21 5.4

Pt 505 5.4 -21 5.4

Surf 500 suelo

501 502 503 504 505

MTranslate 0 -10.5 0

Box 506 10.8 21 10.8 TB caja

###

10.5.- SEMIESFERA

###

Dome2 1 3 10.8 5.4 180 semiesfera56a

Dome2 10000 3 10.8 -5.4 180 semiesfera56b

Pt 25001 5.4 0 0

Pt 25002 0 5.4 0

Pt 25003 -5.4 0 0

Pt 25004 -5.4 -21 0

Pt 25005 5.4 -21 0

Surf 25000 suelo

25001 25002 25003 25004 25005

MTranslate 0 -10.5 -5.4

Box 25006 10.8 21 10.8 TB caja

###



Miguel Remiro Monteagudo

